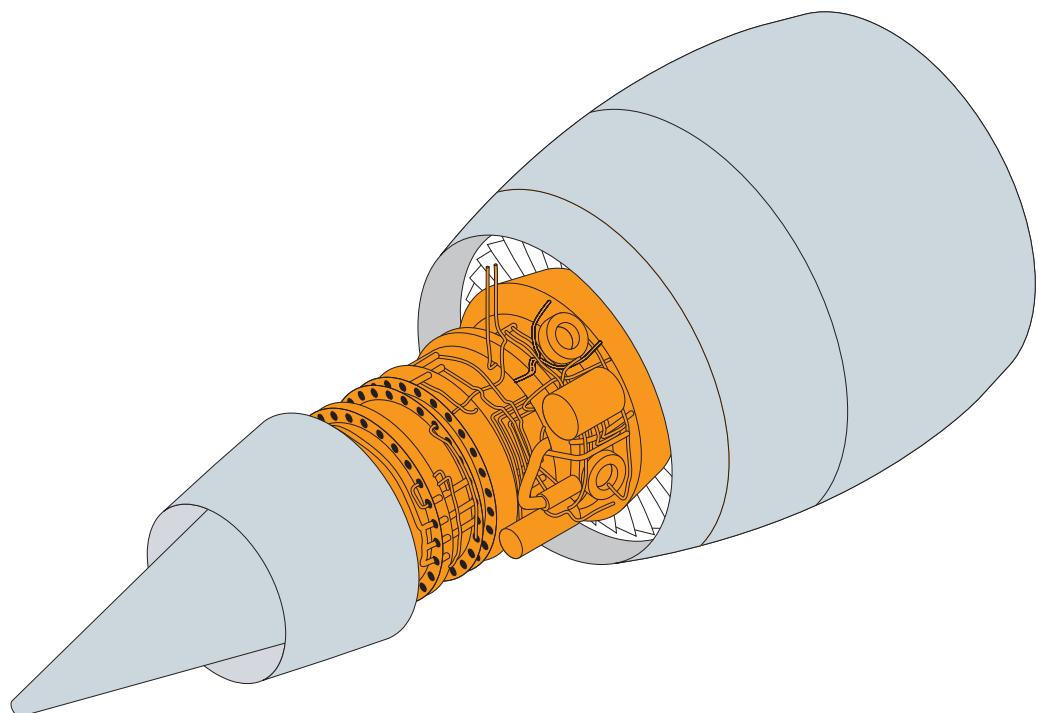


021-10

Powerplant



021-3 Powerplant (Triebwerke)

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	4
2	Viertakt-Otto-Motor	8
2.1	Arbeitsweise.....	8
2.2	Klopfen und Glühzündung.....	10
2.3	Leistungsabgabe.....	12
3	Motorkühlung	16
3.1	Luftkühlung.....	16
3.2	Verkleidung und Zylinderleitbleche.....	16
3.3	Zylinderkopftemperatur und Kühlklappen.....	17
4	Motor-Ölsysteme	20
4.1	Aufgaben des Motoröls und Ölsorten.....	20
4.2	Eigenschaften der Motoröle.....	21
4.3	Ölkreislauf-Systeme.....	23
4.4	Öldruck und Öltemperatur.....	25
5	Zündanlagen	30
5.1	Doppelte Magnetzündung	30
5.2	Hochspannungs-Zündmagnet.....	31
5.3	Magnetzündung beim Anlassen	33
5.4	Überprüfung der Magnetzündung.....	34
6	Gemischbildung	40
6.1	Prinzip des Vergasers.....	40
6.2	Vergaservereisung.....	42
6.3	Kraftstoff-Einspritzsystem.....	44
6.4	Gemischeinstellung.....	45



7	Flugmotorenkraftstoff	53
7.1	Eigenschaften	53
7.2	Klopffestigkeit.....	54
7.3	Wasser oder Verunreinigung im Kraftstoff.....	55
8	Kraftstoffsysteme	59
8.1	Tankbelüftung	59
8.2	Tankanordnung	59
9	Propeller.....	63
9.1	Aufgabe des Propellers.....	63
9.2	Geometrie des Propellerblattes.....	63
9.3	Propellerwirkungsgrad.....	65
9.4	Bedienung von Motor und Propeller	66
9.5	Nebenwirkungen des Propellers auf das Flugzeug	67
	Abbildungsverzeichnis	72
	Über den Autor	73

Info: Dieses Skript gilt sowohl für PPL(A) als auch den PPL(H) bis auf das Kapitel „9. Propeller“, welches ausschließlich für PPL(A) vorgesehen ist.



1 Einführung

Wenn heutzutage von **Triebwerken** die Rede ist, denken viele an Jet-Triebwerke (Strahltriebwerke) oder Turboprops (Propeller-Turbinentriebwerke), die man bei militärischen Flugzeugen oder bei großen Verkehrsflugzeugen in der zivilen Luftfahrt findet. Wir wollen uns jedoch hier sehr gezielt nur über

Kolbentriebwerken unterhalten. Da diese Kolbentriebwerke selbst aber auch eine große Vielfalt aufzeigen, werden uns sogar unter ihnen noch weiter einengen müssen.

Nach ihrer Arbeitsweise unterscheidet man zwischen

- a) **Otto-Motoren**, die mit Benzin betrieben werden
- b) Diesel-Motoren, die es früher in der deutschen Luftfahrt häufig gab, die heute aber praktisch ausgestorben sind.

Nach dem Arbeitsverfahren unterscheidet man zwischen

- a) **Viertakt-Verfahren**
- b) Zweitakt-Verfahren

Nach der Kühlung unterscheidet man zwischen

- a) **Luftkühlung**
- b) Flüssigkeitskühlung

Nach der Zylinder-Anordnung (siehe Abb. 1.1)

- a) **Boxer-Motoren** mit gegenüberliegenden Zylindern
- b) Reihenmotoren in einer großen Vielfalt z.B. V-Motoren, X-Motoren etc.
- c) Stern- oder Doppelstern-Motoren



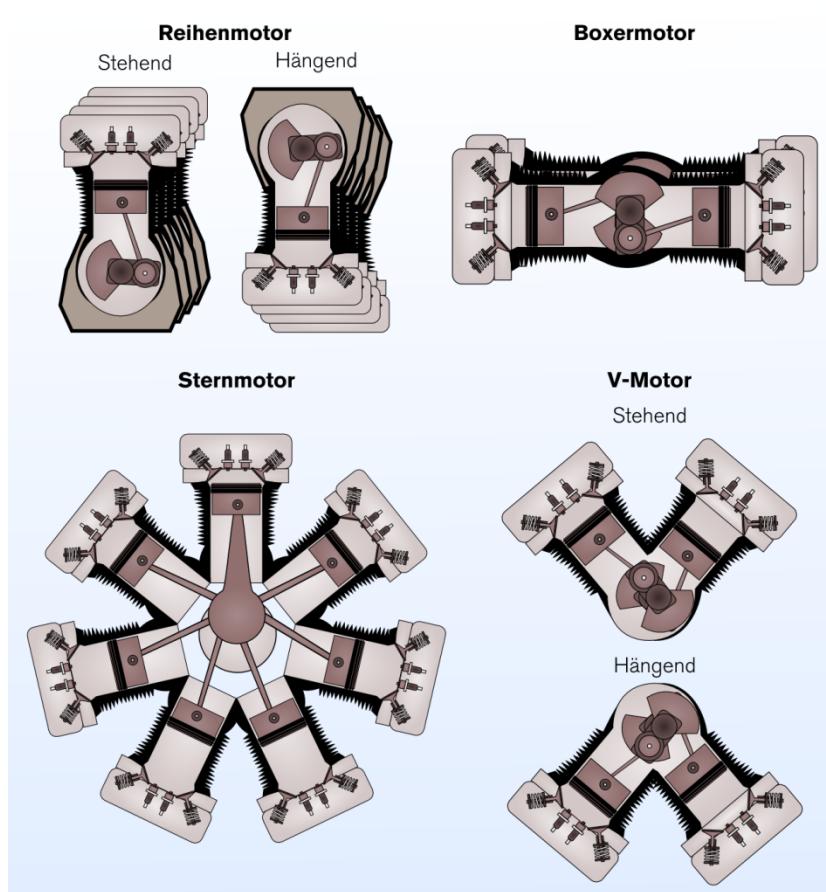


Abb. 1.1 Unterscheidung der Motoren nach Zylinder-Anordnung

Im Folgenden werden wir uns auf **Otto-Motoren** mit **Viertakt-Verfahren**, **Luftkühlung** und in **Boxer-Motor** Anordnung beschränken, da diese Motoren fast ausschließlich in Flugzeugen der E-Klasse (die man mit dem PPL(A) fliegen darf) verwendet werden.

Selbstkontrollaufgaben

001.) Welche Motoren werden bevorzugt bei Flugzeugen der Klasse E eingesetzt?

- a) Zweitakt-Dieselmotoren
- b) Viertakt-Dieselmotoren
- c) Zweitakt-Ottomotoren
- d) Viertakt-Ottomotoren

002.) Welche Zylinderanordnung und welche Kühlung werden bevorzugt bei Flugzeugen der Klasse E eingesetzt?

- a) Boxermotoren mit gegenüberliegenden Zylindern mit Luftpühlung
- b) Sternmotoren mit sternförmig angeordneten Zylindern mit Luftpühlung
- c) Reihenmotoren mit in Reihe angeordneten Zylindern mit Flüssigkeitskühlung
- d) Reihenmotoren mit in Reihe angeordneten Zylindern mit Luftpühlung



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) d

002.) a



2 Viertakt-Otto-Motor

2.1 Arbeitsweise

Bevor die vier Takte dieses Verfahrens erklärt werden, soll schematisch der Aufbau eines Zylinders mit Kolben und Kurbeltrieb in Abb. 2.1 erklärt werden.

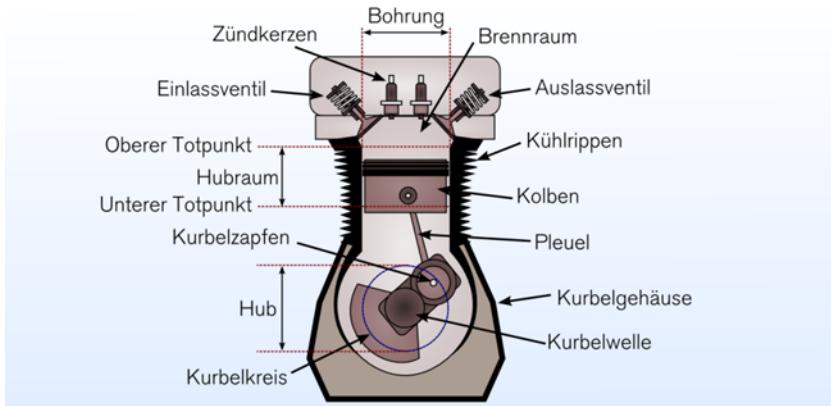
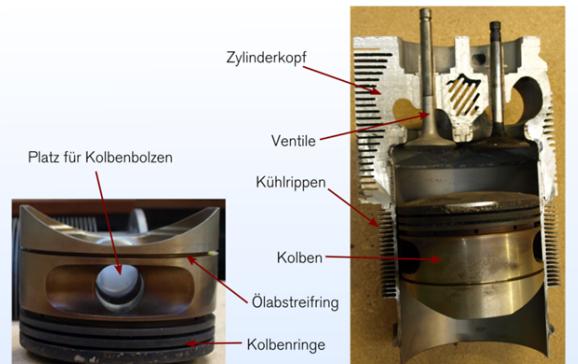
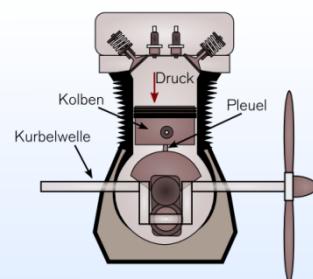


Abb. 2.1 Prinzipieller Aufbau von Zylinder, Kolben und Kurbeltrieb

In der Abbildung erkennt man einen **Kolben**, der sich in dem Zylinder auf- und abwärts bewegt. Er ist über einen **Pleuel** mit der **Kurbelwelle** verbunden und treibt diese an oder wird von ihr angetrieben. Im so genannten **Zylinderkopf** sind zwei Ventile angeordnet; das linke ist das **Einlassventil** und das rechte das **Auslassventil**. Außerdem erkennt man noch zwei **Zündkerzen**, eine würde zwar genügen aber aus Sicherheitsgründen ist das gesamte Zündsystem doppelt vorgesehen.



Die Kurbelwelle treibt den Propeller entweder direkt oder, bei großen Leistungen, über ein Untersetzungsgetriebe an. Die Laufbuchse des Zylinders ist aus Stahl. Der Zylinderkopf besteht aus einer Leichtmetall-Legierung. Ventilsitze und Ventilführung sind aus Stahl. Der Kolben ist mittels federnder Kolbenringe zur Zylinder-Lauffläche abgedichtet. Die Kraftübertragung vom Kolben zum Pleuel erfolgt über den Kolbenbolzen.



Die vier Takte dieses Verfahrens lassen sich am besten mit der Abb. 2.2 erklären:
 Diese Abbildung zeigt ein und denselben Zylinder des Motors zu vier verschiedenen Zeitpunkten.

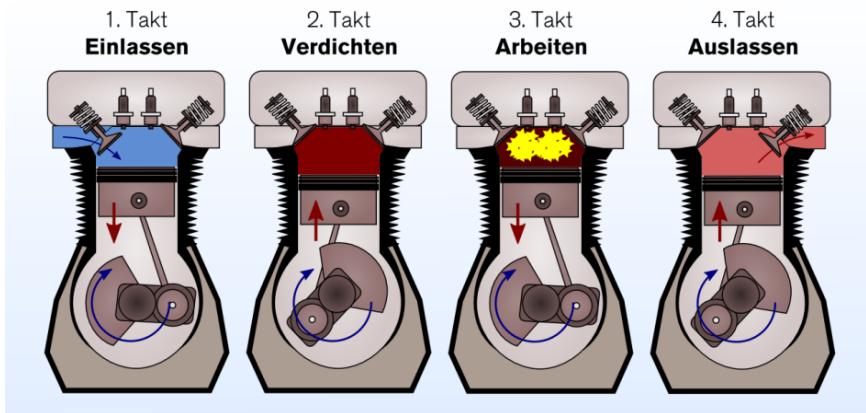


Abb. 2.2 Die vier Takte des Otto-Motors

1. Takt

Beim **Ansaugen** (links) bewegt sich der Kolben abwärts und das **Einlassventil** ist geöffnet. Dadurch wird ein Gemisch aus Luft und Kraftstoff in den Zylinder gesaugt. Wie dieses Gemisch entsteht wird später unter Gemischbildungs-Anlagen erklärt.

2. Takt

Beim **Verdichten** des Kraftstoff/Luft-Gemisches sind beide Ventile geschlossen und der Kolben bewegt sich aufwärts.

3. Takt

Zu Beginn dieses Taktes wird das Kraftstoff/Luft-Gemisch durch je einen Funken an den Zündkerzen entzündet und beginnt zu brennen. Infolge der Verbrennung steigt der Druck über dem Kolben und drückt diesen nach unten. Der dritte Takt umfasst nicht nur **Zünden**, sondern ist vor allem der eigentliche **Arbeitstakt**, der u.a. die Energie für die übrigen Takte liefert. Auch bei diesem Takt sind beide Ventile geschlossen.

4. Takt

Beim **Ausstoßen** der Verbrennungsgase bewegt sich der Kolben aufwärts, das **Auslassventil** ist geöffnet und die Abgase gelangen über den Auspuff ins Freie.

Beim 1. Takt war das Einlassventil geöffnet, beim 2. und 3. Takt waren die Ventile geschlossen und beim 4. Takt war das Auslassventil geöffnet. Um die Anpassung der Ventilstellungen an die vier Takte zu erreichen, ist eine Steuerung der Ventile in Abhängigkeit von den Kurbelwellen-Umdrehungen erforderlich, die im Prinzip in Abb. 2.3 gezeigt ist.

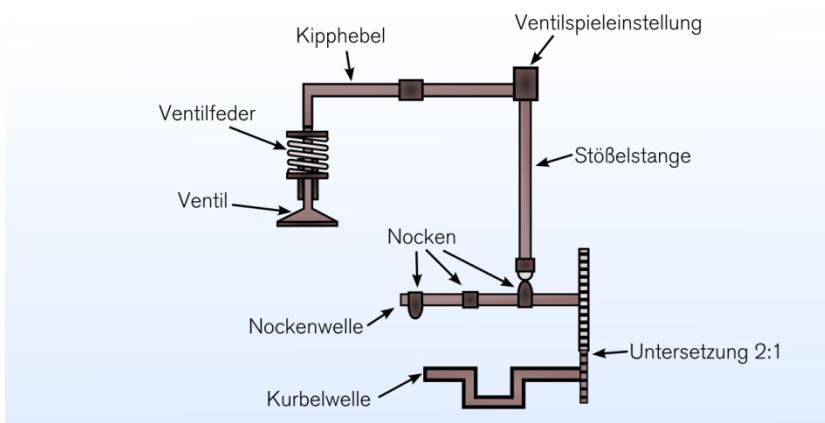


Abb. 2.3 Prinzip der Ventilsteuering

Anmerkung: Früher war das Einstellen des Ventilspiels eine wichtige Wartungsarbeit. Es war erforderlich, damit die Ventile trotz ungleichmäßiger Wärmeausdehnung der verschiedenen Bauteile (Zylinder, Stössel, Ventilschaft) in allen Betriebszuständen immer einwandfrei schließen konnten.

Heute gibt es wie bei Automotoren hydraulische **Ventilstößel**, die sich mit Motoröl füllen und dadurch automatisch anpassen.

2.2 Klopfen und Glühzündung

Nach der Zündung des Kraftstoff/Luft-Gemisches im 3. Takt bildet sich an beiden Zündkerzen eine Flammenfront, die sich mit einer mäßigen Geschwindigkeit (25 bis 30m/s, das sind ca. 100 km/h) ausbreitet. Dieser Verbrennungsmechanismus setzt allerdings voraus, dass der Kolben sich durch den steigenden Druck ohne übermäßig großen Widerstand bewegen lässt.

Wird aber von der Kurbelwelle ein sehr großes Drehmoment verlangt, d.h. der Kolben setzt dem steigenden Druck einen übermäßig großen Widerstand entgegen, dann ändert sich der Verbrennungsmechanismus grundlegend. In diesem Fall steigt der Druck und damit auch die Temperatur im Zylinder soweit an, dass nahezu schlagartig alle Kraftstoffteilchen mit ihren benachbarten Sauerstoffteilchen reagieren. Weil die Druckausbreitung ungefähr mit Schallgeschwindigkeit erfolgt, wird die Flammfrontgeschwindigkeit dieser Verbrennung mit über 300 m/s angegeben. Im deutschen bezeichnet man

diesen Vorgang als "**Klopfen**", obwohl der fast schlagartige Druckanstieg wie ein schwerer Hammerschlag auf den Kolben trifft; im englisch-amerikanischen Sprachgebrauch gibt es dafür die viel treffendere Bezeichnung "**Detonation**".

Abgesehen davon, dass eine klopfende Verbrennung die Leistung des Motors erheblich verringert, können dadurch auch bleibende Schäden am Motor verursacht werden. Gründe, die zum Klopfen führen bzw. das Einsetzen des Klopfens begünstigen, sind u.a. folgendes:

- Verwendung von Kraftstoff zu geringer Klopfestigkeit
- falsches Kraftstoff/Luft-Gemisch
- Fehlbedienung der Vergaservorwärmung
- zu hohe Zylinderkopftemperatur
- hoher Ladedruck bei geringer Drehzahl
- zu früh eingestellter Zündzeitpunkt
- schlechte Kühlung

Von Klopfen spricht man nur, wenn der oben beschriebene Vorgang nach dem Zündzeitpunkt einsetzt. Ähnliche Erscheinungen können jedoch auch entstehen, wenn sich das Kraftstoff/Luft-Gemisch an irgendwelchen glühenden Teilen im Zylinder entzündet z.B. an Kohleablagerungen auf dem Kolben, an den Zündkerzen oder ähnliches. Die dadurch entstehende **Glühzündung** ist eine Frühzündung vor dem regulären Zündzeitpunkt und da dabei der Kolben noch in seiner Aufwärtsbewegung ist, werden dem Klopfen verwandte Erscheinungen hervorgerufen.



2.3 Leistungsabgabe

Die Leistung eines Motors ergibt sich grundsätzlich aus folgender Beziehung:

$$\text{Leistung} = \text{Drehmoment} \times \text{Drehzahl} \times \text{Umrechnungsfaktor}$$

Der Umrechnungsfaktor ist davon abhängig welche Einheiten verwendet werden und ob die Leistung in KW oder PS angegeben werden soll. Zur richtigen Leistungsbestimmung müsste man also sowohl das Drehmoment als auch die Drehzahl messen. Bei früheren Großflugzeugen, z.B. Superconstellation, wurde das auch gemacht. Bei Verwendung einer starren Luftschaube ist es jedoch ausreichend nur die Drehzahl zu messen, die ein genügend genaues Maß für die Leistung darstellt;

Prinzipiell gilt:

$$\text{Je höher die Drehzahl desto größer die Leistung}$$

Bei Motoren mit Verstellpropellern ist aber die Drehzahl kein ausreichendes Maß für die eingestellte Leistung. In diesem Fall wird zusätzlich der Ladedruck (MAP = Manifold Absolute Pressure) angezeigt, der von der Gashebelstellung abhängig ist (siehe Abschnitt 6.1).

Die höchste Leistung eines Motors ist die **Startleistung**. Bei manchen Motoren darf diese Leistung nur zeitlich begrenzt angewendet werden, z.B. 5 min oder 10 min; Angaben über die **zeitliche Begrenzung** der Startleistung und die Einstellung der **maximalen Dauerleistung** liefert das Flughandbuch.

Mit zunehmender Höhe sinkt der Umgebungsdruck und die Luftdichte (die Masse Luft pro m³) wird deutlich kleiner. Da aber der Motor bei einem Hub ein bestimmtes Volumen ansaugt, wird die Masse pro Hub mit der Höhe kleiner, was zu einer erheblichen Abnahme der maximalen Leistung führt.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Wie ist die richtige Reihenfolge der Takte beim Viertaktmotor?

- a) Ansaugen, Ausstoßen, Verdichten, Zünden
- b) Ansaugen, Verdichten, Zünden, Ausstoßen
- c) Ansaugen, Verdichten, Ausstoßen, Zünden
- d) Ansaugen, Zünden, Verdichten, Ausstoßen

002.) Wie schnell dreht die Nockenwelle beim Viertaktmotor?

- a) viermal so schnell wie die Kurbelwelle
- b) doppelt so schnell wie die Kurbelwelle
- c) gleich schnell wie die Kurbelwelle
- d) halb so schnell wie die Kurbelwelle

003.) Unter welchen Bedingungen kann der Motor zum Klopfen neigen, obwohl der richtige Kraftstoff verwendet wird?

- a) Bei hoher Drehzahl und geringer Leistung
- b) Bei niedriger Drehzahl und geringer Leistung
- c) Bei niedriger Drehzahl und hoher Leistung
- d) Bei hoher Drehzahl und beliebiger Leistung

004.) Aus welcher Beziehung ergibt sich bei drehenden Maschinen die Leistung?

- a) Aus Drehmoment x Drehzahl x Umrechnungsfaktor
- b) Aus Drehzahl : Drehmoment x Umrechnungsfaktor
- c) Aus Drehzahl x Umrechnungsfaktor
- d) Aus Drehmoment x Umrechnungsfaktor



005.) Warum wird die Leistung eines Kolbenmotors mit zunehmender Höhe geringer?

- a) Weil die Temperatur abnimmt
- b) Weil das Luftvolumen abnimmt
- c) Weil die Luftdichte abnimmt
- d) Die Aussage in der Frage ist falsch



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) b

002.) d

003.) c

004.) a

005.) c



3 Motorkühlung

3.1 Luftkühlung

Beim Arbeitsprozess im Motor treten sehr hohe Temperaturen auf, die das Material ohne Kühlung nicht überstehen könnte. Im zweiten Weltkrieg gab es sehr viele flüssigkeitsgekühlte Flugmotoren. Bei den heute üblichen relativ kleinen Motoren wird fast ausnahmslos Luftkühlung eingesetzt, im Wesentlichen weil diese einfacher und weniger störanfällig ist.

3.2 Verkleidung und Zylinderleitbleche

Bei luftgekühlten Motoren wird die Wärme direkt von den Kühlrippen der Zylinder und indirekt unter Zwischenschaltung des Triebwerksöles als übertragendes Medium vom Ölkühler an die umgebende Luft abgegeben.

Die Triebwerks-Verkleidung hat außen eine möglichst strömungsgünstige Form für geringen Luftwiderstand. Innen hat sie die Aufgabe zusammen mit Leitblechen und dem Brandschott die Kühlluft über die heißen Bereiche zu leiten. Die zu kühlende Oberfläche der Zylinder ist durch Kühlrippen vervielfacht. Die größte Kühlrippenfläche befindet sich an den Leichtmetall-Zylinderköpfen im Bereich der Auslassventile, weil dort die größte Wärmemenge anfällt.

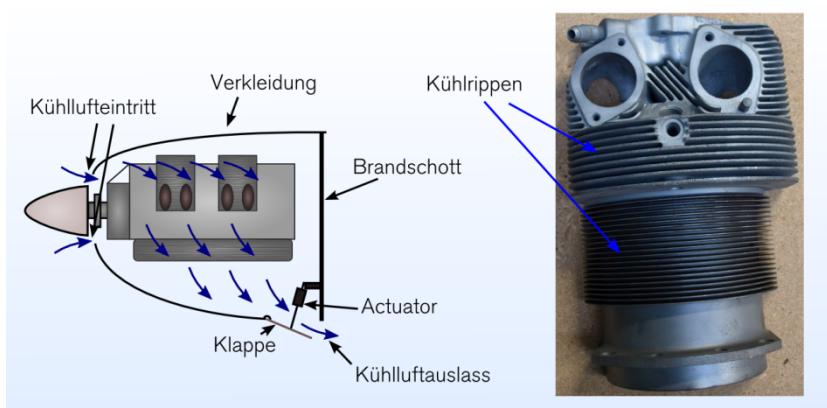
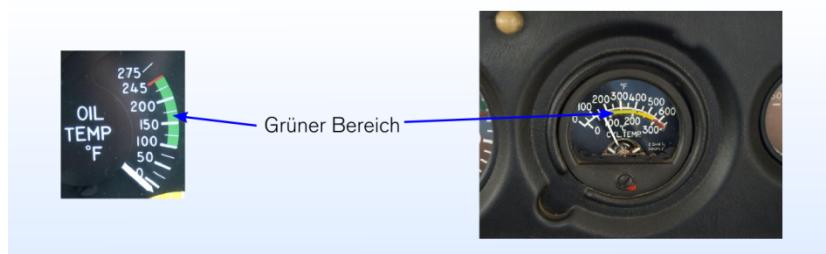


Abb. 3.1 Prinzip der Kühlluftführung

Die Kühlrippen dienen zur Vergrößerung der Oberfläche um dadurch ausreichende Kühlwirkung zu erzielen. Deshalb soll bei Kontrollen darauf geachtet werden, dass sie nicht abgebrochen und die Kanäle zwischen ihnen nicht verstopft sind.

3.3 Zylinderkopftemperatur und Kühlklappen

Ist ein Flugzeug mit einer Zylinderkopf-Temperaturanzeige - die Zylinderkopf-temperatur wird mittels Thermoelement gemessen – ausgerüstet, so kann man leicht die vorgeschriebenen Temperaturen überwachen und durch Betätigung der Kühlklappen, Abb. 3.1, einhalten. Weit geöffnete Kühlklappen erhöhen den Luftwiderstand, deshalb sollte man die Kühlung nach dem Motto dosieren: **soviel wie nötig, aber sowein wie möglich.**



Da der Kühleffekt von der Luftpumpe und der Geschwindigkeit, d.h. von der IAS, abhängt, ist viel Kühlklappenöffnung bei hoher Motorleistung und geringer Geschwindigkeit nötig. Im Reiseflug können dagegen die Kühlklappen fast geschlossen sein (sie lassen sich nicht vollkommen schließen).

Viele Sport- und Reiseflugzeuge sind jedoch nicht mit einer Zylinderkopf-Temperaturanzeige ausgerüstet und haben auch keine verstellbaren Kühlklappen. Eine Überwachung der Kühlung ist dabei nur über die Öltemperatur möglich. Wenn sich also bei längeren Steigflügen die Öltemperatur dem Grenzwert (roter Strich) nähert, dann sollte man den Steigflug in flacherem Winkel und mit höherer Geschwindigkeit fortsetzen. In Extremfällen kann es sogar nötig sein den Steigflug abzubrechen und in den Reiseflug überzugehen, d.h. einige Zeit mit geringerer Motorleistung aber höherer Geschwindigkeit zu fliegen, bis die Öltemperatur wieder im normalen Bereich ist.

Selbstkontrollaufgaben

001.) Wozu dienen die Rippen an Zylindern und Zylinderköpfen?

- a) Sie verbessern die Festigkeit
- b) Sie vergrößern die Oberfläche zur besseren Luftkühlung
- c) Sie dienen zur Formhaltung, damit die Zylinder nicht oval werden
- d) Sie verbessern das Aussehen

002.) Unter welchen Bedingungen kann die Zylinderkopftemperatur zu hoch werden?

- a) Bei direkter Sonneneinstrahlung
- b) Bei hoher Leistung, geringer Fluggeschwindigkeit und geschlossenen Kühlklappen
- c) Bei hoher Leistung, hoher Fluggeschwindigkeit und offenen Kühlklappen
- d) Bei niedriger Leistung, hoher Fluggeschwindigkeit und geschlossenen Kühlklappen



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) b

002.) b



4 Motor-Ölsysteme

4.1 Aufgaben des Motoröls und Ölsorten

Das Öl hat im Kolbenmotor folgende Aufgaben:

1. **Aufbau eines Schmierfilms zwischen gleitenden Teilen,**
um direkten Materialkontakt und Reibung zu vermindern
2. **Kühlung von heißen Teilen innerhalb des Motors,**
z.B. Ventilen und Kolben. Die dort aufgenommene Wärme wird über den Ölkühler an die Umgebung abgegeben
3. **Interne Reinigung durch Wegspülen von Abrieb, Ölkarre, Verbrennungsrückständen usw.,** welche entweder feinstverteilt in der Schwebe gehalten oder durch Ölfilter aus dem Kreislauf entfernt werden.
4. **Feinabdichtung zwischen gleitenden Teilen,**
z.B. Kolben und Zylinder oder Ventilschaft und Ventilführung
5. **Interner Korrosionsschutz** blanker Metalloberflächen
6. **Als Hydraulikflüssigkeit zur Kraftübertragung**
für Propeller-Verstellung u.Ä.

Aus der Auflistung der Aufgaben des Motoröls kann man unschwer erkennen, dass das Öl für den Betrieb des Motors unerlässlich ist. Wollte man einen Motor ohne Öl betreiben, so würde man feststellen, dass nach sehr kurzer Zeit der Motor vollkommen zerstört ist. Für einen sicheren Flug ist es deshalb notwendig eine genügend große Ölmenge mitzuführen.

**Deshalb unbedingt vor jedem Flug die Ölmenge
mit Peilstab kontrollieren.**

Welche Ölsorte für welchen Motor?

Der Motor-Hersteller weiß, welche Eigenschaften das Öl für seinen Motor unter bestimmten Betriebsbedingungen haben muss. Die schreibt er in einer so genannten Spezifikation (Spec.) unter einer Spezifikations-Nummer vor.

Jede Öl firma stellt deshalb Öl her, welches die Spezifikation erfüllt. Hat der Motor-Hersteller das Öl erprobt, erteilt er eine Zulassung. Natürlich gibt es auch



andere Motoren, die das gleiche Öl verwenden können, und andere Ölfirmen, deren Öl derselben Spezifikation entspricht.

In der Betriebsanleitung des Flugzeugs steht, welches Öl unter welchen klimatischen und sonstigen Bedingungen zu verwenden ist.

Auskünfte und Empfehlungen kann auch der für die Wartung des Flugzeugs zuständige luftfahrttechnische Betrieb (LTB) erteilen.

4.2 Eigenschaften der Motoröle

Ölsorten

Öle und Fette auf pflanzlicher und tierischer Basis (z.B. Rizinusöl, Lebertran, Knochenöl) wurden in der Frühzeit der Fliegerei auch für Motoren verwendet, spielen aber heute keine Rolle mehr. Flugzeug-Kolbenmotoren werden mit

Mineralölen auf Petroleum-Basis betrieben, welche durch besondere Herstellungsverfahren und chemische Zusätze (Additive) auf die Betriebsbedingungen abgestimmt werden.

Die seit der Einführung der Turbinen-Triebwerke entwickelten **synthetischen Öle** sind chemisch anders aufgebaut und dürfen weder allein noch gemischt in Kolbenmotoren verwendet werden.

Der Grund dafür liegt in der Unverträglichkeit der falschen Ölsorte mit dem Material der elastischen Dichtungen zwischen beweglichen Teilen, z.B. Simmeringen an Wellen, O-Ringen im Verstell-Propeller usw. Wenn zwischen solchen Dichtungen und dem Öl "die Chemie nicht stimmt", quellen sie auf und verkleben die Teile miteinander. Dies kann sowohl gefährlich werden, als auch sehr teuer.

Viskosität oder Zähigkeit ist ein Maß für die innere Reibung. Kaltes Öl ist "dicker" (zäher) als warmes. Im Motor muss das Öl dickflüssig genug sein, damit der erforderliche Systemdruck aufgebaut und gehalten werden kann. Andererseits muss es dünnflüssig sein, damit es schnell überall hinkommt, wo es zum Schmieren und Kühlen gebraucht wird. Es war deshalb früher notwendig das verwendete Öl in Abhängigkeit von der Jahreszeit zu wechseln, um immer mit der gewünschten Viskosität zu arbeiten.

Inzwischen wurden so genannte **Mehrbereichsöle** entwickelt. Diese Öle sind **viskostabil** oder **viskostatisch**, d.h. ihre Viskosität bleibt innerhalb eines bestimmten Temperaturbereichs konstant. Das SAE 20W-50 ist z.B. ein Öl, welches die Viscositätszahl SAE 20 bei Erwärmung bis in den Temperaturbereich des SAE 50 Öls beibehält. Die Viskostabilität dieser Öle wird durch Zusätze, so genannte Additives, erreicht, die bei Erwärmung aufquellen.



Auch für die Steuerung anderer gewünschter Eigenschaften werden den Ölen weitere Additive beigemischt. Öle mit Additivs bezeichnet man als **legierte Öle** im Gegensatz zu den **unlegierten** reinen **Mineralölen**.

In diesem Zusammenhang gilt zu beachten:

**Legierte und unlegierte Öle dürfen niemals
miteinander vermischt werden!**

Bei der Verbrennung des Gasgemisches im Zylinder ist es unvermeidlich, dass auch Öl verbrennt. Damit sich die dabei entstehenden Rückstände **Ölkohle** bzw. **Asche** nicht festsetzen, werden sie durch ein weiteres Additiv im Öl gelöst und feinstverteilt bis zum nächsten Ölwechsel in der Schwebe gehalten.

Weitere Additive sollen **Schaumbildung** im Öl verhindern, denn mit Luftblasen im Öl gibt es Probleme bei der Kühlung und der Propeller-Verstellung.

Das Öl wird im Gebrauch **chemisch aggressiv**, weil es schwefelhaltige Verbrennungsrückstände des Kraftstoffs aufnimmt, welche in Verbindung mit Kondenswasser **schweflige Säure** bilden. Die Säure greift Dichtungen an und verursacht Korrosion an ungeschützten Metalloberflächen. Dagegen gibt es auch ein Additiv, welches neutralisierend wirkt. Dieser Zusatz wird regelrecht verbraucht, d.h. das Öl altert und verliert irgendwann seine schützende Eigenschaft.

Wie andere Fette reagiert auch Motoröl auf den Sauerstoff der Luft, es wird ranzig und zerersetzt sich. Dagegen hilft kein Additiv, sondern rechtzeitiger Ölwechsel.

Legierte Öle werden als HD-Öle (heavy duty) bezeichnet. Äußerlich erkennt man sie an mindestens einem Buchstaben in der Bezeichnung.



4.3 Ölkreislauf-Systeme

Das Ölsystem ist ein geschlossener Kreislauf.

Es gibt zwei Arten:

Das **Nass-Sumpf-System** (Abb. 4.1) ist wie bei einem Auto. Der Sumpf ist die tiefste Stelle des Systems, wohin das Öl aufgrund der Schwerkraft immer wieder zurückläuft.

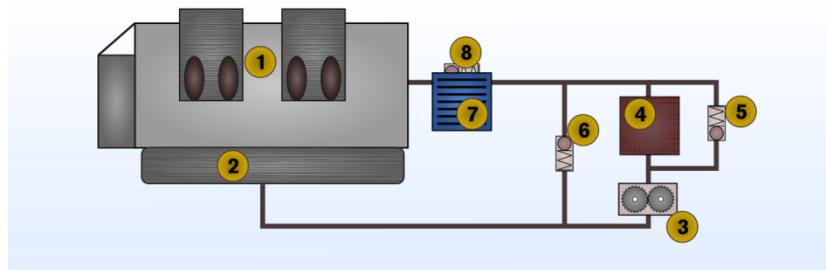


Abb. 4.1 Nasssumpforschmiersystem

Unter dem Motorblock (1) befindet sich die Ölwanne (2), die als Ölsumpf und Reservoir dient.

Die Druckölpumpe (3) ist eine Zahnradpumpe, die bei jeder Umdrehung eine bestimmte Menge fördert, d.h. die Fördermenge ist abhängig von der Drehzahl. Das Ölfilter (4) hält Verunreinigungen, Späne usw. zurück. Das Ölfilter-Umgehungsventil (5) ist normalerweise durch Federdruck geschlossen. Falls jedoch das Ölfilter verstopft ist, baut sich Differenzdruck auf, der das Ventil öffnet. Das sollte nicht vorkommen, aber notfalls ist schmutziges Öl besser als keins.

Das Überdruckventil (6) begrenzt den System-Öldruck nach oben.

Der **Ölkühler** (7) ist ein Öl/Luft-Wärmetauscher im Kühlluftstrom.

Das Ölfilter-Umgehungsventil (8) regelt die Öltemperatur. Bei kaltem Öl ist es offen. Mit steigender Öltemperatur schließt es und zwingt das Öl, durch den Kühler zu fließen.

Das **Trockensumpf-System** ist erforderlich bei Motoren mit hängenden Zylindern, z.B.

- bei Sternmotoren
- bei kunstflugtauglichen Motoren

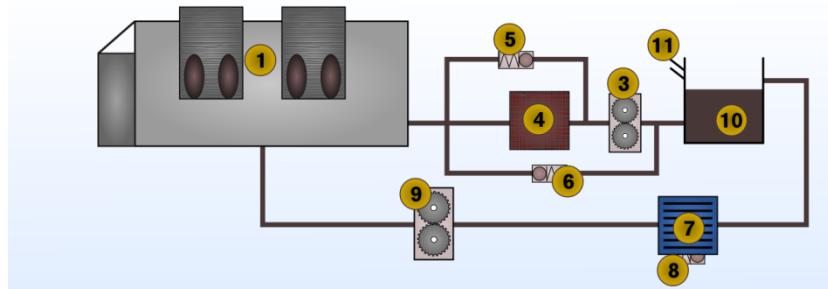


Abb. 4.2 Trockensumpfschmiersystem

Die Unterschiede zum Nass-Sumpf-System sind:

Nach getaner Arbeit wird das Öl von den Schmierstellen abgesaugt. Die Kapazität der Rückförderpumpe (n) (9) ist **immer** größer als die der Druckölpumpe (3), damit es zu keiner Überflutung der tieffliegenden Bereiche kommt, wenn das Öl schaumig ist.

Der Ölkühler (7) liegt meistens in der Leitung zwischen der Rückförderpumpe und dem separaten Öltank (10). Das Rücköl fließt von oben in den Öltank, damit eventueller Schaum besser abgebaut wird. Über dem Ölspiegel muss ein bestimmtes freies Volumen zum Entschäumen sein. Damit der Tank nicht überfüllt werden kann, sitzt der Einfüllstutzen (11) nicht oben, sondern an der Seite.

4.4 Öldruck und Öltemperatur

Zur Erfüllung seiner Aufgaben im Motor braucht das richtige Öl auch noch ganz bestimmte Betriebsbedingungen:

1. Die **richtige Ölmenge** ist wichtig, denn das Öl dient als Puffer und Überträger im Wärmehaushalt des Triebwerks:
 - Eine zu geringe Ölmenge wird schnell überhitzt und kann die Wärme von den heißen Teilen innerhalb des Motors nicht abführen.
 - Bei zuviel Öl im Nasssumpfsystem taucht die Kurbelwelle ein und schlägt Schaum. Beim Trockensumpf-System ist in einem übervollen Öltank zuwenig Platz zum Entschäumen des Rücköls. Schaum - d.h. Luftblasen im Öl - führt zu Störungen bei der Schmierung, Kühlung und Propeller-Verstellung.

Der **richtige Systemdruck** ist wichtig, damit der Umlauf zur Schmierung und Kühlung stimmt. Nach dem **Anlassen** muss sich der **Öldruck** sofort aufbauen und stabilisieren. Andernfalls muss der Motor unverzüglich abgestellt und die Ursache der Störung behoben werden. Der Öldruckmesser zeigt einen **roten Strich** bei zu **tiefem Öldruck**, dann einen **grünen Bereich** für **normalen Betrieb** und nochmals einen **roten Strich** als **oberen Grenzwert**. Ein Überschreiten des oberen Grenzwerts nach dem Anlassen bei sehr kaltem Öl kann toleriert werden. Vor dem Start muss allerdings nach Erwärmung des Öls der Druck wieder in den normalen Bereich zurückgehen.

Die **richtige Öltemperatur** ist wichtig.

- **Bei zu kaltem (zähflüssigem) Öl** reißt der Schmierfilm zwischen schnell aufeinander gleitenden Teilen. Dann kommt es zum so genannten "Fressen" von Kolben oder Gleitlagern.
- Wird der Motor im Betrieb nicht warm genug, kann unverbrannter Kraftstoff nicht verdampfen. Dadurch wird das Öl verdünnt und seine Schmierfähigkeit beeinträchtigt.
- **Mit zu heißem (dünnflüssigem) Öl** kann die Ölpumpe den Systemdruck nicht aufrechterhalten. Bei unzureichender Schmierung und Kühlung wird der Motor beschädigt oder zerstört
- Bei Überhitzung verdampfen zuerst die Bestandteile mit den niedrigsten Siedepunkten. Was danach übrig bleibt, hat auch nach Abkühlung nicht mehr die ursprünglichen Eigenschaften, weil die verschiedenen Additive durch ÜberTemperatur zerstört werden.



Das bedeutet für die Praxis:

Vor dem Anlassen muss sichergestellt sein, dass die **Ölmenge** stimmt (Peilstab) und der Öltankdeckel geschlossen ist.

Sobald der Motor läuft, muss sich der **Öldruck aufbauen und stabilisieren**.

Ein kalter Motor soll bei niedriger Drehzahl (ca. 1.000 RPM) bis zu einer bestimmten Mindest-Öltemperatur (z.B. 40°C) warmlaufen, bevor die Drehzahl erhöht und ggf. der Propeller in eine größere Steigung verstellt wird.

Vor dem Start und während des Betriebs sollen die Anzeigen von **Druck und Temperatur im grünen Skalenbereich** stehen. Nach einer Überhitzung des Öls ist es wichtig, dass die Ursache (Bedienungsfehler?) ermittelt bzw. behoben und das Öl umgehend gewechselt wird.

Sinkender Öldruck bei gleichzeitig ansteigender Öltemperatur sind Zeichen von Öldefizit bzw. Ölverlust. Ungewöhnlich hoher Ölverbrauch, niedriger Öldruck und hohe Öltemperatur sind Anzeichen von Motorstörungen und müssen sofort dem zuständigen Wartungsbetrieb gemeldet werden.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Welche Aufgaben hat das Öl im Motor?

- a) Es dient zusätzlich zur Schmierung als Hydraulikflüssigkeit
- b) Es dient nur zur Schmierung, deshalb wird es auch als Schmieröl bezeichnet
- c) Es dient zusätzlich zur Schmierung als Korrosionsschutz
- d) Es dient zur Schmierung, zur inneren Kühlung, zur Reinigung, zur Feinabdichtung, als Korrosionsschutz und gelegentlich als Hydraulikflüssigkeit

002.) Wodurch werden Mehrbereichsöle viskostabil?

- a) Durch bei Erwärmung aufquellende Additives
- b) Durch eine Wärmebehandlung des reinen Mineralöles
- c) Durch Zugabe von synthetischen Ölen
- d) Durch Zugabe von Bleitetraäethyl

003.) Ein Naßsumpfsystem ist einfacher im Aufbau als ein Trockensumpfsystem. Bei welchen Bedingungen muß trotzdem ein Trockensumpfsystem verwendet werden?

- a) Bei mehrmotorigen Flugzeugen
- b) Bei Motoren sehr großer Leistung
- c) Bei Zylindern die tiefer liegen als die Kurbelwanne (Sternmotoren) und bei Kunstflugzeugen
- d) Bei Motoren, die quer zur Flugrichtung eingebaut werden



004.) Was ist zur Überwachung des Ölsystems erforderlich?

- a) Öldruck und Ölviskosität sowie die Ölmenge mit Peilstab vor dem Start
- b) Öldruck und Ölmenge
- c) Öldruck und Öltemperatur sowie die Ölmenge mit Peilstab vor dem Start
- d) Nur die Ölmenge mit Peilstab vor dem Start



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) d

002.) a

003.) c

004.) c



5 Zündanlagen

5.1 Doppelte Magnetzündung

Flugzeug-Kolbenmotoren arbeiten nach dem Otto-Prinzip und brauchen für jeden Arbeitstakt eine elektrische Fremdzündung. Wenn die Zündung nicht bei jedem Arbeitstakt erfolgt, bleibt der Motor stehen.

Nachdem bei normalen Motorflugzeugen ein Motorausfall zur Notlandung, wenn nicht gar zum Absturz, führt, soll ein Motorausfall durch Zündversagen so unwahrscheinlich wie möglich gemacht werden. Deshalb fordern die Lufttüchtigkeitsvorschriften, dass Flugzeuge mit **zwei voneinander und vom Bordnetz unabhängigen Zündsystemen** ausgerüstet werden müssen. Dafür bietet sich die **Magnet-Zündung** an, weil sie den notwendigen Zündstrom selbst erzeugt

Da das ganze Zündsystem doppelt ausgeführt werden muss, hat jeder Zylinder zwei Zündkerzen, die von zwei separaten, vom elektrischen Bordnetz unabhängigen Magnet-Zündanlagen versorgt werden. Jede Zündkerze wird einmal in zwei Kurbelwellen-Umdrehungen zum richtigen Zeitpunkt gezündet. Zum Funken-Überschlag an der Zündkerze ist kurzzeitig eine Spannung von ca. 20.000 Volt erforderlich.

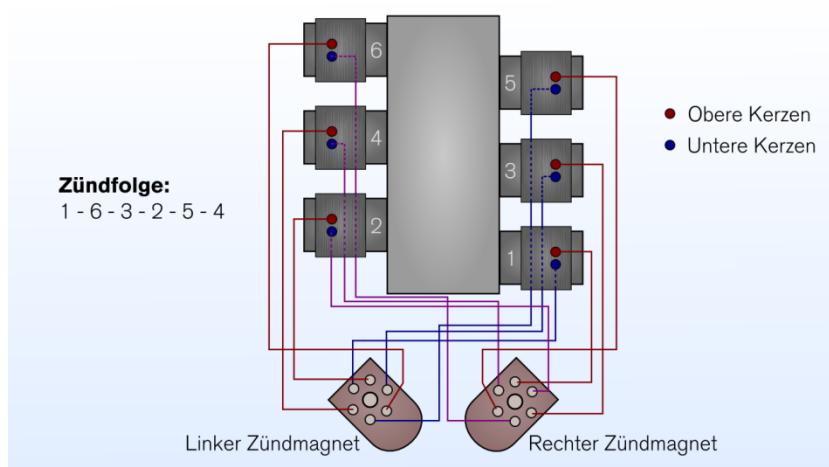


Abb: Einfache Darstellung eines Zündsystems.

5.2 Hochspannungs-Zündmagnet

Zum besseren Verständnis der Zusammenhänge ist es von Vorteil aber nicht notwendig, dass Sie über das Induktionsgesetz und die Anwendung von Transformatoren informiert sind.

Der Zündmagnet hat einen **Stator aus Eisenblechen**, um den **zwei Wicklungen** (in Abb. 5.1 bezeichnet mit Zündspule) gewickelt sind.

Die **Primärwicklung** hat wenige Windungen aus dickem Draht.

Die **Sekundärwicklung** hat viele Windungen aus dünnem Draht.

Beide Wicklungen zusammen ergeben die **Zündspule**.

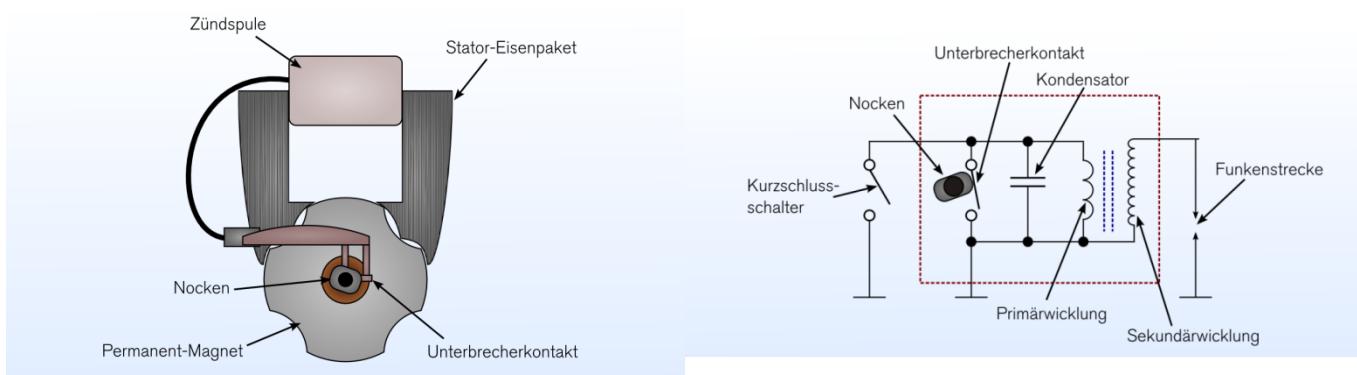


Abb. 5.1 Hochspannungs-Zündung

Der Rotor ist ein **Permanentmagnet**, der über Zahnräder von der Kurbelwelle angetrieben wird. Bei drehendem Motor erzeugt er im Eisenpaket einen sich schnell ändernden Magnetfluss. Dadurch wird in der feststehenden Primärwicklung eine Spannung bzw. ein Strom induziert.

Der Primärstromkreis ist durch den federbelasteten **Unterbrecherkontakt** geschlossen.

Auf derselben Welle wie der Magnet sitzt ein **Nocken**, der so eingestellt ist, dass der Unterbrecher genau dann öffnet, wenn der Strom durch die Primärwicklung und damit das Magnetfeld den höchsten Wert hat. Durch die Unterbrechung des Primärstroms bricht das Magnetfeld der Wicklung schlagartig zusammen, d.h. es ändert sich sehr stark in sehr kurzer Zeit. In den vielen Windungen der Sekundärwicklung entsteht dadurch eine hohe Induktionsspannung, für die auch eine Funkenstrecke (ca. 0,7 mm) kein Hindernis ist. Diese hohe Spannung wird nun über den **Verteiler** (Funkenstrecke) an die Kerze geleitet, die gerade zünden soll.

Der **Kondensator** parallel zum Unterbrecher ist entladen, wenn der Unterbrecher geschlossen ist. Beim Öffnen lädt sich der Kondensator auf und verhindert das Entstehen eines Abreissfunkens, der sonst den Kontakt bald zerstören würde.

Wichtig: Der hier beschriebene Vorgang kann nur stattfinden, wenn der Kurzschluss-Schalter, das ist der eigentliche **Zündschalter**, offen ist.

Bei geschlossenem Schalter ist die Zündung AUS!

Der oben beschriebene Hochspannungs-Zündmagnet wird heute bei Flugmotoren fast ausnahmslos verwendet. Abb. 5.2 zeigt als Beispiel, was zu einer normalen **Hochspannungs-Zündanlage mit Überschlagverteiler** eines 6-Zylinder Motors gehört. Das Prinzip bleibt natürlich das gleiche, wenn es sich um einen 4-Zylinder Motor handelt; es sind dann lediglich nur 4 Kerzen zu versorgen und der Verteiler hat nur 4 Kontakte.

Hochspannungs-Zündmagnet

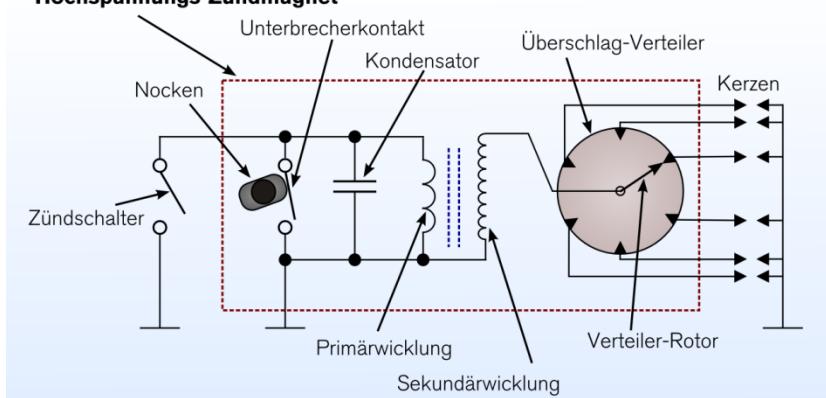


Abb. 5.2 Hochspannungs-Zündmagnet

Der Rotor des Zündverteilers (beim Auto sagt man "Verteilerfinger") dreht mit halber Kurbelwellendrehzahl und schickt die Zündspannung zu der Kerze, welche gerade an der Reihe ist. Bei ausreichend hoher Spannung schlägt der Funke vom Rotor zum Kontakt des Kerzenkabels über, ohne dass eine Berührung stattfindet. Das hat den Vorteil, dass es außer der Erosion durch den Funken keinen mechanischen Verschleiß gibt. In größerer Höhe tritt aber ein Problem auf: Die dünnere Luft isoliert nicht mehr so gut wie unten. Findet der Funke einen leichteren Weg als durch das hochverdichtete Gas im Zylinder, schlägt er woanders über, und die richtige Kerze zündet nicht.

Die Lösung des Höhen-Überschlag-Problems ist möglich indem man die Verteilung auf der Primärseite vornimmt, auf der eine niedrige Spannung (ca. 200 V) vorliegt. Dort lässt sich ein **Schleifbahn-Verteiler** verwenden, bei

dem kein Funken überschlägt. Der Verteiler-Rotor stellt einen berührenden, d.h. schleifenden Kontakt zum richtigen Sektor einer Schleifbahn her, an dem das Kabel zur Kerze angeschlossen ist. Die Erhöhung der Spannung erfolgt dabei erst nach der Verteilung in einer **Zündspule** (einem Transformator) unmittelbar vor jeder Kerze. Dieser **Niederspannungs-Zündmagnet** wird hier nicht näher besprochen.

5.3 Magnetzündung beim Anlassen

Beim Anlassen von Kolbenmotoren mit Magnetzündung gibt es zwei Probleme:

- a) Die Zündspannung, die ein Magnet erzeugt, ist abhängig von der Drehzahl.
Beim Durchdrehen mit dem Starter sind beide noch zu niedrig, um einen kräftigen Zündfunken zu erzeugen.
- b) Der Zündzeitpunkt ist für normale Betriebsdrehzahl bei etwa 20° Kurbelwellen-Winkel vor dem oberen Totpunkt (OT) des Verdichtungstaktes eingestellt, weil die Verbrennung einige Zeit dauert. Bei normaler Drehzahl erfolgt der Druckaufbau erst, wenn der Kolben schon wieder abwärts geht. Wenn beim Starten, d.h. mit langsamer Bewegung des Kolbens, bei gleichem Zündwinkel, 20° vor OT, gezündet werden würde, erwischt der Druckanstieg den Kolben noch in der Aufwärtsbewegung, und der Motor schlägt zurück.

Zur Überwindung dieser Probleme gibt es im Prinzip zwei mögliche

Anlasshilfen:

A) Mechanisch

Der Zündmagnet hat am Eingang der Antriebswelle eine so genannte **Impulskupplung**. Wenn die Kurbelwelle langsam dreht, rastet eine Sperre ein und hält die Welle des Magneten fest, wobei eine Feder aufgezogen wird. Erst wenn die Kurbelwelle über den normalen Zündwinkel hinaus weitergedreht wird, löst die Sperre. Die gespannte Feder reißt den nun freigegebenen Magnet mit hoher Winkelgeschwindigkeit über den Punkt, an dem der Unterbrecherkontakt öffnet. Dadurch entsteht eine höhere Spannung zu einem späteren Zeitpunkt. Wenn der Motor anspringt und die Drehzahl steigt, wird die Impulskupplung durch zwei Fliehgewichte außer Funktion gesetzt, wonach der Magnet normal (d.h. früher) zündet. Die Impulskupplung wird auch "Schnapper" genannt und war früher weit verbreitet.

B) Elektrisch (heute allgemein üblich):

Solange der Starter dreht, der von der Batterie versorgt wird, liefert letztere auch die Energie für die ersten Zündfunken zum Anlassen. Dazu wird ein **Vibrator** (auch Summer genannt) in den Primär-Stromkreis eines der beiden Magnete



geschaltet. Dieser Vibrator zerhackt den von der Batterie kommenden Gleichstrom, da nur ein Wechselstrom bzw. zerhackter Gleichstrom von der Zündspule (Transformator) im Magneten auf höhere Spannung transformiert werden kann. Den späteren Zündzeitpunkt für den Anlassvorgang erreicht man durch einen zusätzlichen, später öffnenden Unterbrecherkontakt.

Vorteile:

- Weniger klappernde Mechanik,
- heiße, energiereiche Mehrfachfunken zum sicheren Zünden.

Nachteil (Auswirkung für die Praxis):

- Ohne Batterie bzw. Aussenbord-Anschluss kann ein solcher Motor nicht gestartet werden, d.h. Drehen am Propeller ist zwecklos!

Anmerkung:

Der Anlasser ist ein Elektromotor ohne äußere Kühlung. Er soll deshalb nur kurz laufen mit längeren Unterbrechungen.

5.4 Überprüfung der Magnetzündung

Bereits in Abb. 5.1 wurde gezeigt, dass der Zündschalter ein Kurzschluss-Schalter ist, d.h. wenn dieser Schalter geschlossen ist, ist die Zündung ausgeschaltet. Bei geschlossenem Schalter ist der Primärstromkreis geerdet, d.h. es kann sich keine Spannung aufbauen. Daraus ergibt sich folgende Regel:

"Wenn der Zündschalter keinen Kontakt gibt oder das Kabel zwischen Schalter und Magnet unterbrochen ist, dann ist der **Zündmagnet eingeschaltet und kann zünden!**"

Der **Zündschalter** hat zwei mechanisch gekoppelte Kontakte mit vier Stellungen:

- OFF:** Beide Magnete sind kurzgeschlossen und an Masse gelegt
- LEFT:** Der linke Magnet kann zünden, der rechte ist kurzgeschlossen und an Masse gelegt
- RIGHT:** Der rechte Magnet kann zünden, der linke ist kurzgeschlossen und an Masse gelegt
- BOTH:** Beide Magnete können zünden

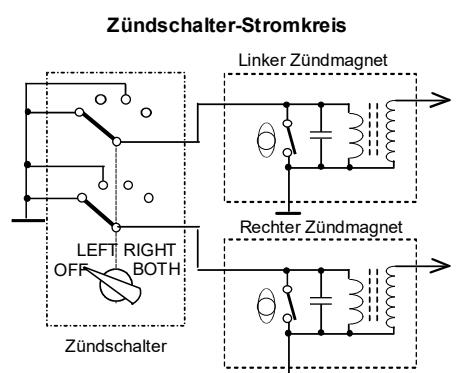


Abb. 5.3 Zündschalter



Die wichtigsten Funktionsprüfungen der Zündanlage sind:

(1) Magnet-Check:

Vor jedem Start prüft man im Stand bei gesetzter Bremse, ob der Motor die normale Leistung bringt und das Zündsystem in Ordnung ist.

Dazu bringt man den Motor auf die im Flughandbuch vorgeschriebene Drehzahl. Bei Flugzeugen mit Verstell-Propeller muss zusätzlich mit dem Drehzahl-Wahlhebel die höchste Drehzahl gewählt werden.

Nun schaltet man den Zündschalter von **BOTH nach RIGHT** und beobachtet die Drehzahl-Anzeige. Ein kleiner Drehzahl-Abfall ist normal, denn mit nur einer Zündkerze ist der Ablauf der Verbrennung im Zylinder nicht optimal. Die zahlenmäßige Größe, die normal ist, wird im Flughandbuch angegeben. Ein größerer Drehzahl-Abfall wäre ein Anzeichen dafür, dass ein Zylinder bzw. eine Kerze nicht ordnungsgemäß arbeitet.

Anschließend empfiehlt es sich für ca. 10 bis 20 Sekunden wieder auf BOTH zurückzuschalten. Dies dient dazu die Kerzen des linken Magneten "frei zu brennen" von Rückständen, die sich angesetzt haben während diese Kerzen nicht arbeiteten.

Dann schaltet man von **BOTH nach LEFT** und prüft den linken Magneten genauso wie den rechten. Der Unterschied, der sich im Drehzahl-Abfall zwischen RIGHT und LEFT ergeben darf, ist ebenfalls im Flughandbuch angegeben. Ein Unterschied im Drehzahl-Abfall zwischen RIGHT und LEFT kann ein Zeichen für ungenaue Synchronisation (d.h. nicht gleichzeitiges Zünden) der Magnete sein. Es gibt aber auch Motoren, bei denen ein Drehzahl-Unterschied durch die Position der Kerzen im Brennraum bedingt und normal ist.

Vor dem Start muss unbedingt nochmals geprüft werden, dass der Zündschalter in **Stellung BOTH** steht. Starts mit dem Zündschalter in Stellung LEFT oder RIGHT sind gefährlich, weil der Motor dabei nicht die volle Startleistung erbringt.

(2) Kurzschluss-Check

Das ist eine Prüfung, um sicherzustellen, dass der Zündschalter in Stellung OFF auch tatsächlich beide Magnete an Masse legt. Dazu lässt man den Motor mit einer etwas höheren als der Leerlaufdrehzahl (~ 1000 RPM) laufen und schaltet kurz den Zündschalter auf OFF und wieder zurück auf BOTH. Dabei muss der Motor abfallende Drehzahl anzeigen, die sich wieder normalisiert, wenn auf BOTH geschaltet wird.

Das normale **Abstellen** des Motors erfolgt mit dem Gemischhebel auf CUT OFF. Dadurch wird vermieden, dass der Motor durch **Glühzündung** weiterläuft oder



gar zurückschlägt (man spricht auch von Nachdieseln). Erst wenn der Propeller steht, wird der Zündschalter auf OFF geschaltet. Wegen der Gefahr von **Glühzündung** sollte auch beim heißen Motor der Propeller, wenn nötig, nur mit großer Vorsicht gedreht werden.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Welche Bauvorschriften gibt es für Zündanlage von Flugzeugen der Klasse E?

- a) Die Zündanlagen müssen immer von der Batterie gespeist werden
- b) Es müssen mindestens zwei Zündanlagen immer von der Batterie gespeist werden
- c) Die Zündanlagen müssen immer mit niedriger Spannung arbeiten
- d) Flugzeuge müssen mit zwei voneinander und vom Bordnetz unabhängigen Zündsystemen ausgerüstet sein

002.) Eine Zündanlage besteht im wesentlichen aus folgenden Elementen: Zündschalter, Unterbrecher, Primärwicklung, Sekundärwicklung und Überschlagsverteiler. Dabei handelt es sich um eine....

- a) Eine Hochspannungszündung bei der die Kabel zu den Zündkerzen eine hohe Spannung führen
- b) Eine Niederspannungszündung bei der die Kabel zu den Zündkerzen eine niedrige Spannung führen
- c) Eine Gleichspannungszündung bei der die Kabel zu den Zündkerzen eine Gleichspannung führen
- d) Eine Wechselspannungszündung, die von der Batterie gespeist wird

003.) Eine Magnetzündung ist eingeschaltet, wenn.....

- a) der Zündschalter geschlossen ist
- b) der Zündschalter geöffnet ist
- c) der Unterbrecher geschlossen ist
- d) der Unterbrecher geöffnet ist



004.) Wie groß darf der Drehzahlabfall beim Magnet-Check sein?

- a) ca. 50 U/min
- b) ca. 75 U/min
- c) nicht mehr als 150 U/min
- d) nicht mehr als die Angabe im Flughandbuch



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) d

002.) a

003.) b

004.) d



6 Gemischbildung

Bei heutigen Flugzeug-Kolbenmotoren werden grundsätzlich zwei verschiedene Arten von Gemischaufbereitungsanlagen verwendet. Es sind dies entweder

Vergaseranlagen oder **Einspritzsysteme**.

Vergaseranlagen mischen Luft und Kraftstoff im Vergaser. Danach wird das Gemisch über eine verzweigte Leitung den Einlassventilen der einzelnen Zylinder zugeführt.

Einspritzsysteme mischen Luft und Kraftstoff erst kurz vor Eintritt in den Zylinder. Der Kraftstoff wird in die Ansaugleitung am Einlassventil eingespritzt.

6.1 Prinzip des Vergasers

Für viele einfache Zwecke und auch bei vielen kleineren Flugmotoren wird der Schwimmer-Vergaser eingesetzt, Abb. 6.1

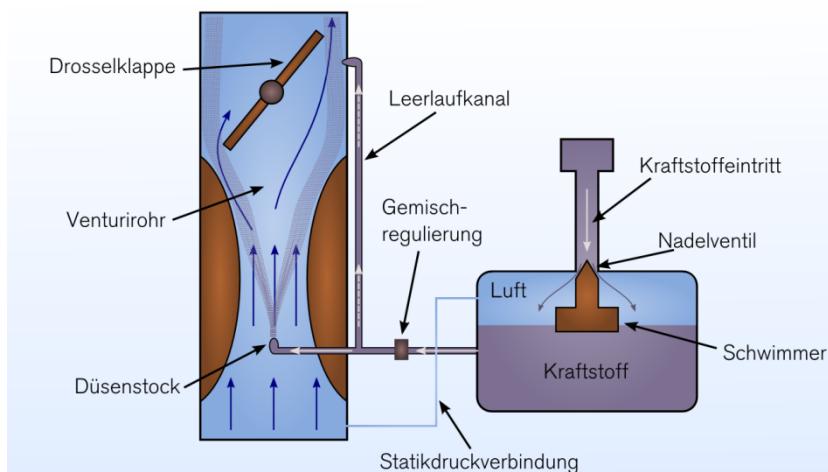


Abb. 6.1 Schwimmer-Vergaser

Die Ansaugluft wird über einen **Luftfilter** zum **Lufteintritt** des Vergasers geleitet. Im Vergaser strömt die Luft durch ein **Venturi**, wodurch sich eine Druckdifferenz zwischen dem Lufteintritt und der engsten Stelle des Venturi ergibt (Bernoulli's Gesetz). Diese Druckdifferenz ist ein Maß für das durchfließende Luftvolumen. An der engsten Stelle des Venturi ist die **Hauptdüse** für den Kraftstoff angebracht.

Der Kraftstoff gelangt über ein **Kraftstofffilter** in die **Schwimmerkammer**. Der Zulauf des Kraftstoffs wird über die **Schwimmernadel** so geregelt, dass der Flüssigkeitsspiegel in Höhe der Hauptdüse steht.

Die Schwimmerkammer hat eine (nicht aufgezeigte) Verbindung zum aufgebauten Druck im Bereich des Lufteintritt's, so dass zwischen der Schwimmerkammer und der Hauptdüse dieselbe Druckdifferenz herrscht wie am Venturi. Hierdurch wird erreicht, dass immer die passende Kraftstoffmenge zum angesaugten Luftvolumen durch die Hauptdüse fließt und dort zerstäubt wird.

Für den Betrieb des Motors ist jedoch nicht das Verhältnis Kraftstoffvolumen zu Luftvolumen maßgebend, sondern es kommt auf das richtige Verhältnis **Kraftstoffmasse zu Luftmasse** an. Da sich aber das letztere Verhältnis insbesondere durch unterschiedliche Flughöhen erheblich ändert, ist in der Leitung von der Schwimmerkammer zur Hauptdüse noch ein **Regelventil für Gemischregulierung** von Hand vorgesehen; es handelt sich um einen roten Hebel im Cockpit der als "Mixture" bezeichnet wird. Die Gemischregelung wird in einem gesonderten Abschnitt näher besprochen.

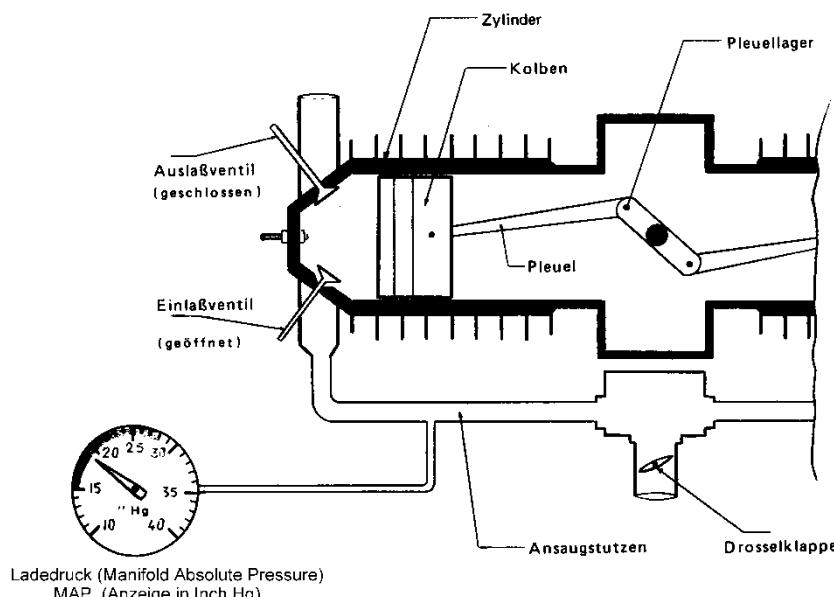


Abb. 6.2 Ladedruckmesser (Manifold Pressure Gauge)

Die **Drosselklappe** wird durch den **Gashebel** bedient und mit ihr wird der Ladedruck (Manifold Absolute Pressure MAP) eingestellt. Der Ladedruckmesser, Abb. 6.2, misst den absoluten Luftdruck in der Ansaugleitung stromabwärts von der Drosselklappe. Da die Drosselklappe nicht dicht geschlossen werden kann, zeigt er bei stehendem Motor den barometrischen Druck am Ort des Flugzeuges.

Beim Erhöhen der Leistung durch öffnen der Drosselklappe steht im ersten Augenblick nicht genug Kraftstoff zur Verfügung. Man hat das Gefühl der Motor verschluckt sich. Um dieses "Loch" zu überbrücken betätigt der Gashebel beim

vorschieben eine so genannte **Beschleunigerpumpe**, die zusätzlichen Kraftstoff einspritzt.

Bei Vollgas ist die Drosselklappe ganz geöffnet und bei Leerlauf bis auf einen Restspalt geschlossen. Bei Leerlauf ist der Luftstrom sehr klein und es würde sich keine gute Zerstäubung des Kraftstoffes in der Hauptdüse ergeben.

Darüber hinaus muss im Leerlauf der Kraftstoffanteil gegenüber der Luftmenge vergrößert werden. Beide Erfordernisse erfüllt die **Leerlaufdüse**. Sie nutzt die hohe Luftgeschwindigkeit, die sich in dem engen Spalt zwischen Drosselklappe und Wand ergibt. Der dadurch entstehende Unterdruck saugt genügend Kraftstoff durch diese Düse zur Aufrechterhaltung der Leerlauf-Drehzahl.

Der Schwimmer-Vergaser ist zwar einfach im Aufbau, er hat aber u.a. den Nachteil, dass er von der Lage des Flugzeuges abhängig ist. Wie man sich leicht vorstellen kann, ist er für Rückenflug und damit auch für Kunstflug ungeeignet. Man findet ihn deshalb nur in einfachen Flugzeugen. Für Kunstflugzeuge sind andere Vergaserarten entwickelt worden, deren Besprechung aber hier zu weit abschweifen würde.

6.2 Vergaservereisung

Durch das Absenken des Druckes im Venturi und an der Drosselklappe und durch das Verdampfen des Kraftstoffes wird die Temperatur erheblich gesenkt. Wenn nun die Ansaugluft viel (unsichtbaren) Wasserdampf enthält, kann es durch die tiefen Temperaturen zur Eisbildung kommen, d.h. es setzt sich Eis im Vergaser, an der Drosselklappe und an der Wandung der Einlassleitung an.

Man nennt dieses Phänomen **Vergaservereisung**. Im normalen Betrieb des Motors ist bei höherer Luftfeuchtigkeit die Gefahr der Vergaservereisung bei Lufttemperaturen zwischen -5 und +20 °C gegeben.

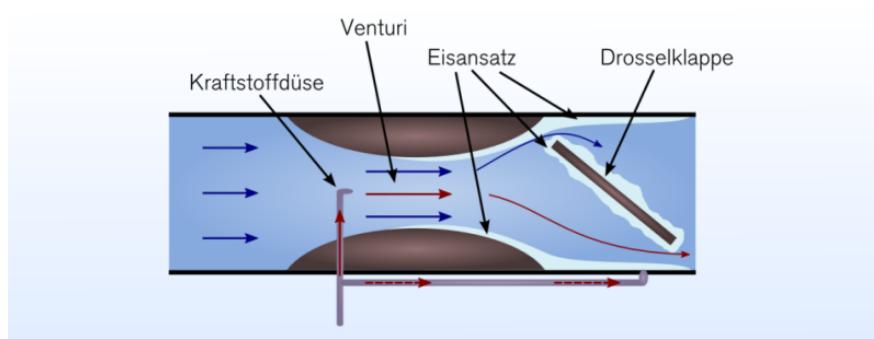


Abb. 6.3 Vergaservereisung

Bei Temperaturen unter -5°C kann die Luft nur wenig Feuchtigkeit aufnehmen, so dass bei tieferen Temperaturen die Gefahr gering ist.

Bei geringer Motorleistung oder im Leerlauf besteht die Gefahr der Vergaservereisung auch noch bei Temperaturen über +20°C.

Vergaservereisung führt zum Leistungsverlust und im weiter fortgeschrittenen Stadium zum Motorausfall. Letztere Gefahr ist besonders gegeben, wenn im Sinkflug mit wenig Leistung geflogen wird; bei Beendigung des Sinkfluges bemerkt man zu spät, dass durch Vereisung der Motor ausgefallen ist. Bei starrem Propeller erkennt man beginnende Vergaservereisung an sinkender Drehzahl. Bei Verstellpropellern wird die Drehzahl durch den "governor" konstant gehalten. Da aber durch den Eisansatz der Ansaugquerschnitt verengt wird, erkennt man den Beginn der Vergaservereisung am sinkenden Ladedruck (MAP).

Zur Vermeidung oder Beseitigung beginnender Vergaservereisung haben Vergaser-Flugmotoren eine **Vergaserluft-Vorwärmung**. Bei Betätigung dieser Vorwärmung wird der Ansaugkanal so umgeschaltet, dass die Ansaugung am Auspuff entlang erfolgt. Dadurch ist die Luft so weit aufgewärmt, dass keine Eisbildung mehr möglich ist. Bei Betrieb der Vergaserluft-Vorwärmung wird die **Luft nicht gefiltert**, deshalb unnötigen **Betrieb der Vorwärmung am Boden vermeiden**.

Wenn die Vergaser- oder die Vergaserluft-Temperatur nicht angezeigt wird, was meistens bei kleineren Flugzeugen der Fall ist, soll man die Vorwärmung entweder ganz oder gar nicht betätigen. Eine teilweise Einschaltung ist nur zu empfehlen, wenn man aus entsprechenden Anzeigen erkennen kann, dass die Temperatur oberhalb der Gefahrenzone ist.

Eine Kontrolle der Vergaserluft-Vorwärmung am Boden vor dem Start ist vorgeschrieben. Die einwandfreie Funktion erkennt man an einem deutlichen Drehzahl-Abfall (siehe Flughandbuch), weil die erwärmte Luft eine geringere Dichte hat. Bei dieser Prüfung sollte die Vergaserluft-Vorwärmung etwa 15 bis 20 Sekunden eingeschaltet bleiben. Beobachtet man dann nach dem anfänglichen Drehzahl-Abfall einen Anstieg der Drehzahl, so ist das ein deutliches Zeichen dafür, dass bereits Vergaservereisung vorgelegen hat. Direkt vor dem eigentlichen Start sollte dann die Vorwärmung nochmals betätigt werden, um alles Eis abzutauen damit die volle Startleistung zur Verfügung steht.

6.3 Kraftstoff-Einspritzsystem

Kraftstoff-Einspritzung bedeutet Zuteilung des bemessenen Kraftstoffs unter Druck zu den einzelnen Zylindern. Es gibt zwei Möglichkeiten:

- a) **Direkte Einspritzung** (in die Zylinder) erfordert hohen technischen Aufwand, weil für jeden Zylinder ein eigenes Hochdruck-Pumpenelement mit regelbarer Fördermenge gebraucht wird. Wurde zuletzt in Hochleistungs-Triebwerken der 50er Jahre eingesetzt (die heute in modernen Auto-Motoren verwendete "Common Rail" -Einspritzung gibt es noch nicht an Flugzeug-Triebwerken).
- b) **Indirekte Einspritzung** (vor das Einlassventil jedes Zylinders), Abb. 6.4. Dazu muss die Pumpe nicht den hohen Kompressionsdruck im Zylinder, sondern nur den viel niedrigeren Ladedruck (MAP) überwinden. Das ist bei **Ottomotoren** (auch im Auto) heute das normale Einspritzverfahren.

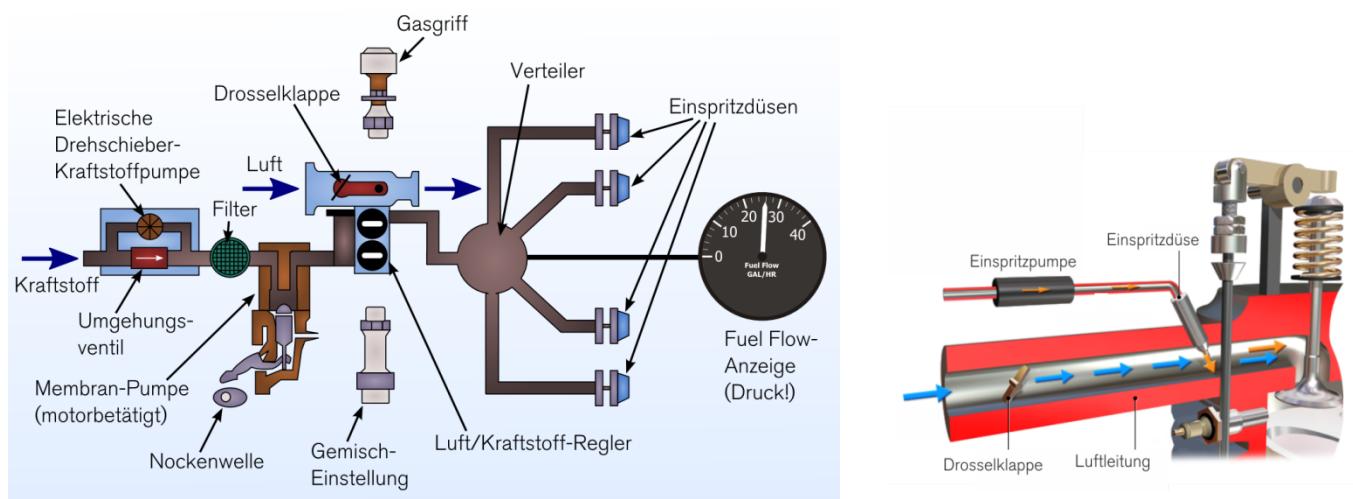


Abb 6.4 indirekte Einspritzung

Das übliche indirekte Einspritz-System besteht aus

- einer **motorgetriebenen Kraftstoffpumpe**, z.B. eine von der Nockenwelle betätigte Membranpumpe
- einer **elektrischen Kraftstoffpumpe** für den Anlassvorgang und als Reserve, falls die motorgetriebene Kraftstoffpumpe ausfällt
- dem **Reglerteil** mit der Drosselklappe und dem Kraftstoffregler
- dem **Verteilerventil** zur Aufteilung des bemessenen Kraftstoffs
- den **Einspritzdüsen** vor den Einlassventilen der Zylinder

Die Steuerung erfolgt luftseitig durch die Drosselklappe und kraftstoffseitig durch den Kraftstoff-Bemessungsteil.

Vorteile von Einspritzern gegenüber Vergaser-Motoren:

- Gleichmäßige Gemischverteilung, dadurch
- gleichmäßige Zylinder-Leistung und -Temperatur
- ruhigerer Motorlauf und geringerer Verbrauch
- keine Dampfblasenbildung in größerer Höhe
- keine durch den Wärme-Entzug beim Verdampfen des Kraftstoffs hervorgerufene Vereisung

Flugzeuge mit Kraftstoffeinspritzung können natürlich auch in Vereisung-Wetterlagen kommen bei denen dann der Ansaugluftfilter vereisen würde. Für diese Situationen kann man auf "**alternate air**" umschalten, dabei wird die Luft aus dem etwas wärmeren Motorraum angesaugt.

6.4 Gemischeinstellung

Das in Abb. 6.1 gezeigte "Ventil für Gemischregulierung" wird durch einen roten Gemischhebel (Mixture) im Cockpit bedient. Neben der Tatsache, dass man damit den Motor abstellt, dient es zur Veränderung des Verhältnisses Luftmasse zu Kraftstoffmasse. Ohne ein manuelles Verstellen verändert sich die Gemischeinstellung im Steig- oder Sinkflug durch die Abnahme der Luftdichte. Darüber hinaus lässt sich auch das Verhalten des Motors durch Gemischeinstellung in gewünschtem Sinn beeinflussen.

Benzin ist nur gasförmig - d.h. als Dampf - brennbar, wenn es mit Luft gemischt wird. Es braucht Sauerstoff zur Verbrennung.

Um 1 Kg Flugbenzin vollkommen zu verbrennen, sind 15 Kg Luft erforderlich.

Zündgrenzen

Ein Gemisch aus Luft und Kraftstoffdampf ist nur innerhalb eines engen Anteilbereiches überhaupt zündfähig. Die Grenzen dieses Bereichs sind die obere und untere Zündgrenze:

- Die **obere Zündgrenze** liegt bei **8 Massenanteilen Luft auf 1 Massenanteil Kraftstoff**. Darüber ist das Gemisch zu reich (rich), um zündbar zu sein.
- Die **untere Zündgrenze** liegt bei **18 Teilen Luft auf 1 Teil Kraftstoff**. Darunter ist das Gemisch zu arm bzw. zu mager (lean).



Die Mischungsverhältnisse, mit denen der Motor arbeitet liegen zwischen 1 : 10 und 17 : 1 .

Gemisch-Bezeichnungen

Aufgabe der Gemischaufbereitungsanlage - d.h. des Vergasers oder Einspritzsystems - ist die automatische Bemessung des Kraftstoffanteils zur durchgesetzten Luftmasse. Zusätzliche manuelle Eingriffe des Piloten in den Regelvorgang sind möglich, wenn der Zustand der verarbeiteten Luft von den Standardwerten abweicht. Für die verschiedenen Mischungsverhältnisse gibt es folgende Bezeichnungen:

Reiches Gemisch (Rich Mixture) 10 : 1 wird für hohe Leistungsbereiche über 70% verwendet, d.h. für Start (take-off), Maximale Dauer- und Steigleistung (Maximum Continuous und Climb Power). Der unverbrannte Restkraftstoff ist zur inneren Kühlung der Zylinder erforderlich. Manche Vergaser sorgen bei Vollgas (Startleistung) automatisch für eine Gemischanreicherung.

Gemisch für beste Leistung (Best Power Mixture) 12,5 : 1 darf nur im mittleren Leistungsbereich (unter 70%) verwendet werden, weil dabei die Gefahr des Klopfens besteht.

Ein stöchiometrisches Gemisch (Chemical Correct Mixture CCM) 15 : 1 ist zu vermeiden, weil nach der Verbrennung weder Kraftstoff- noch Luftüberschuss zur Kühlung übrig bleibt, führt es zu sehr hohen Temperaturen.

Das Gemisch für beste Wirtschaftlichkeit (Best Economy Mixtur) 16,5 : 1 darf nur bei Reiseleistung (Cruise Power) bis maximal 70% Leistung verwendet werden. Der Überschuss an unverbrannter Luft dient zur inneren Kühlung.

Das nebenstehende Diagramm zeigt den Verlauf der wichtigsten Triebwerksparameter innerhalb der Bereichsgrenzen der Gemischregelung bei mittlerer Reiseflugleistung (Cruise Power) und konstantem Ladedruck.

Die **Leistung (1)** ist mit Gemisch für beste Leistung (Best Power Mixture) 12,5:1 am höchsten, weil ein bestimmter Kraftstoff-Überschuss die Verbrennung begünstigt.

Die **Zylinderkopf-Temperatur (2)** ist mit Chemical Correct Mixture 15:1 am höchsten, weil dann weder Luft- noch Kraftstoff-Überschuss zur inneren Kühlung vorhanden ist.

Die **Abgas-Temperatur (3)** ist mit stöchiometrischem Gemisch (CCM) 15:1 am höchsten, weil dann weder Luft- noch Kraftstoff-Überschuss zur inneren Kühlung vorhanden ist.

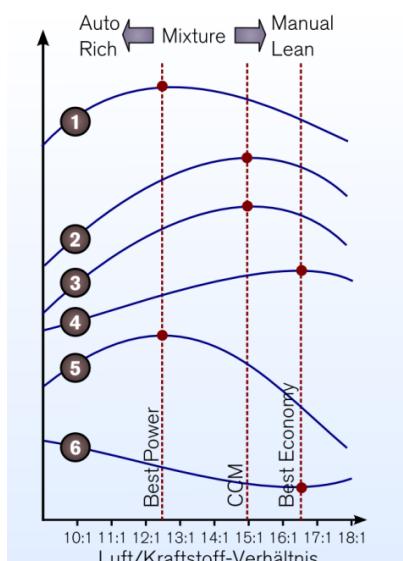


Abb. 6.5 Luft/Kraftstoff-Verhältnis



Der **Wirkungsgrad (4)** ist am höchsten, wenn das Gemisch für beste Wirtschaftlichkeit (Best Economy Mixture) von Hand - d.h. unter Berücksichtigung der realen Bedingungen - auf 16,5: 1 eingestellt wurde.

Die **Flammfront-Geschwindigkeit (5)** bei normaler Verbrennung (ohne Klopfen!) ist mit Gemisch für beste Leistung (Best Power-Mixture) 12,5: 1 am höchsten.

Gemischregel-Systeme sind so eingestellt, dass sie bei Standard-Bedingungen in Meereshöhe und maximaler Motorleistung auf der reichen Seite der besten Leistung (12,5 : 1) liegen.

Deshalb ist bei anderen Bedingungen der Kraftstoffanteil oft zu hoch und man spricht vom **verarmen** des Gemisches. Man merke sich, dass das eigentliche verarmen bei fester Stellung der Drosselklappe, d.h. des Gashebels, geschieht.

Das bedeutet, dabei wird die **Luftmenge nicht geändert** und nur die

Kraftstoffmenge reduziert.

Das Verarmen hat nach dem Flughandbuch zu erfolgen. Unterschiede in den Verfahren hängen von der Ausstattung und Instrumentierung des Flugzeugs ab, weshalb hier nur ein Standard-Ablauf beschrieben werden kann.

Verarmen im Reiseflug beginnt bei stabilisierter Reiseflug-Leistung unter 70%. Man zieht den Mixture-Hebel aus der REICH (RICH) Stellung langsam zurück und beobachtet die Parameter, die sich nach der Kurve A, Abb. 6.6, verhalten,

- bei Constant Speed Propeller: Nur die Airspeed (die Drehzahl bleibt konstant, weil die Blattsteigung verändert wird).
- bei starrem Propeller: Sowohl Drehzahl als auch Airspeed

Ist eine Abgas-Temperatur (EGT) -Anzeige vorhanden, verläuft sie nach der Kurve B, Abb. 6.6. Den EGT Höchstwert merkt man sich und zieht dann den Mixture Hebel langsam noch weiter zurück bis zum Wert (a) oder (b). Falls der Motor dabei "rau" wird (unrund läuft), schiebt man den Hebel gerade soweit vor, dass er wieder "rund" läuft. Bei zu starkem Verarmen wird das Gemisch ungleichmäßig, was zu dem rauen Lauf führt. Ohne EGT-Anzeige kann man ersatzweise die Zylinderkopftemperatur und auch den Kraftstoffdurchfluss benutzen.

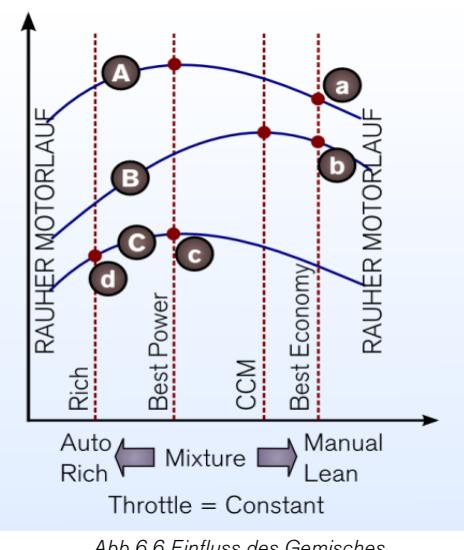


Abb.6.6 Einfluss des Gemisches

Häufig wird die Frage gestellt, ob die Gemischregelung am Boden geprüft werden kann. Das ist durchaus möglich und geschieht bei jedem Abstellen. Aber auch in anderen Situationen kann man den Gemischhebel langsam zurückziehen. Wenn ein Drehzahlregler nicht im Eingriff ist bzw. bei starrer Luftschraube beobachtet man bei richtiger Grundeinstellung zuerst einen Drehzahlanstieg und bei weiterem Ziehen einen Drehzahlabfall.

Beim **Anlassen** des kalten Motors kondensiert viel Kraftstoff nach dem Vergaser an den kalten Wänden von Ansaugkanal und Zylindern. Dies führt dazu dass das Gemisch zu arm zum Zünden ist. Deshalb wird mit einer kleinen Handpumpe (Primer) zusätzlich Kraftstoff in die Ansaugleitungen vor den Einlassventilen von Hand eingespritzt.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Der Schwimmervergaser ist ein häufig verwendeter Vergaser. Er ist nicht geeignet für....

- a) längere Flüge über Wasser
- b) Rückenflug
- c) Sternmotoren
- d) Flüge über Gebirge

002.) Durch Verstellung der Drosselklappe im Vergaser wird....

- a) der Ladedruck geregelt
- b) der Druck vor dem Vergaser geregelt
- c) die Leerlaufdrehzahl eingestellt
- d) die maximale Drehzahl begrenzt

003.) Bei einem nicht aufgeladenen Motor kann der Ladedruck...

- a) nicht gemessen werden
- b) nicht verändert werden
- c) nie kleiner sein als der barometrische Druck in der Umgebung des Flugzeuges
- d) nie größer sein als der barometrische Druck in der Umgebung des Flugzeuges

004.) Bei welchen Bedingungen kann auch bei Reiseleistung Vergaservereisung auftreten?

- a) Bei Temperaturen zwischen ca. -5°C und +20°C und hoher Luftfeuchtigkeit
- b) Nur bei Temperaturen unter 0°C und hoher Luftfeuchtigkeit
- c) Bei trockenem Wetter und Temperaturen unter -10°C
- d) Nur bei gefrierendem Regen



005.) Welchen Vorteil hat man unter anderem beim Einspritzmotor?

- a) Es wird keine Zündanlage benötigt (Dieselprinzip)
- b) Das Gemisch bleibt auch in großer Höhe konstant
- c) Der Ladedruck ist unabhängig vom Außendruck
- d) Es tritt keine Vergaservereisung auf

006.) Bei welchem Verhältnis Kraftstoffmasse zu Luftmasse findet eine vollkommene Verbrennung statt? (Nach einer vollkommenen Verbrennung ist weder Kraftstoff noch Sauerstoff in den Verbrennungsgasen)

- a) 1 zu 1
- b) 1 zu 10
- c) 1 zu 15
- d) 1 zu 18

007.) Ein Gemisch 1 zu 10 wird wie bezeichnet?

- a) Armes Gemisch, weil Luft fehlt
- b) Reiches Gemisch, weil reichlich Kraftstoff vorhanden ist
- c) Nicht brennbares Gemisch, weil zu wenig Sauerstoff vorhanden ist
- d) Ideales Gemisch, weil es fast so brennt wie reines Benzin

008.) Ohne Betätigung der Gemischeinstellung wird sich mit zunehmender Höhe das Gemisch wie ändern?

- a) Es wird ärmer, weil die Luft weniger Sauerstoff hat
- b) Es wird ärmer, weil die Luftpumpe abnimmt
- c) Es wird ärmer, weil die Temperatur abnimmt
- d) Es wird reicher, weil die Luftpumpe abnimmt



009.) Beim Verändern der Gemischeinstellung...

- a) wird die Luftmasse der Kraftstoffmasse angepaßt
- b) wird nur die Kraftstoffmasse geändert
- c) wird sowohl die Luftmasse als auch die Kraftstoffmasse geändert
- d) wird mit dem Gemischhebel die Luftmasse der Höhe angepaßt



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) b

002.) a

003.) d

004.) a

005.) d

006.) c

007.) b

008.) d

009.) b



7 Flugmotorenkraftstoff

7.1 Eigenschaften

Die Sicherheit des Flugbetriebs hängt entscheidend von den Eigenschaften des verwendeten Kraftstoffs ab. Die Anforderungen an Flugbenzin (engl. Aviation Gasoline, abgek. Avgas) sind:

- hoher Energiegehalt von Masse und Volumen
- gute Lager- und Transportfähigkeit
- hohe Klopffestigkeit
- niedriger Gefrierpunkt
- niedriger Flammpunkt
- niedriger Dampfdruck
- rückstandsfreie Verbrennung

Diese zum Teil widersprüchlichen Forderungen können nur durch die Mischung verschiedener Zutaten erfüllt werden.

Hoher Energiegehalt bedeutet hoher Heizwert, das ist der Energie-Gehalt und wird in Kilojoule pro Kilogramm angegeben. Avgas hat etwa 43.400 kJ/kg, das bedeutet umgerechnet 1 kg Avgas hat eine Energie von ca. 12 Kilowattstunden. Andere Motorkraftstoffe liegen in ähnlicher Größenordnung.

Spezifische Masse (oder Dichte) ist die Masse (in kg) pro Volumen (in Litern). 1 Liter Avgas bei 15° C hat eine Masse von ca 0,72 kg. Warmer Kraftstoff hat eine geringere Dichte als kalter.

Flammpunkt ist die Temperatur, bei der sich über der Flüssigkeit ein zündfähiges Gas bildet. Ein niedriger Flammpunkt bedeutet gutes Kaltstart-Verhalten, aber größere Feuergefahr. Der Flammpunkt von Avgas 100 LL liegt bei ca. - 25° C.

Dampfdruck ist ein Maß für die Neigung zum Verdampfen und ist ein Maß für die unerwünschte Gasblasenbildung in drucklosen Kraftstoffleitungen. (niedriger ist besser)



7.2 Klopffestigkeit

Eine wichtige Eigenschaft ist die Klopffestigkeit. Je klopfester ein Kraftstoff ist desto weniger neigt er unter sonst gleichen Bedingungen zum Klopfen.

Es gibt eine Skala für die Klopffestigkeit, auf der reines Heptan den Wert Null und reines Oktan den Wert 100 hat. Ein Kraftstoff mit derselben Klopffestigkeit wie ein Gemisch von 80 % Oktan und 20 % Heptan hat demnach 80 Oktan. Damit ist nicht gesagt, woraus der Kraftstoff tatsächlich besteht. Wird die Klopffestigkeit mit zwei Zahlen - z.B. 80/87 Oktan angegeben, so gilt die erste Zahl für armes Gemisch bei Reiseleistung und die zweite Zahl für reiches Gemisch bei Startleistung.

Es gibt Kraftstoffe, die noch klopfester als 100 %iges Oktan sind. Um die Klopffestigkeit dieser "Super-Kraftstoffe" zu bewerten, hat man die Oktanskala über 100 hinaus erweitert. Die Zahlenangabe heißt dann nicht mehr Oktan-Zahl, sondern **Leistungszahl** (Performance Number).

Man kann hohe Klopffestigkeit durch Zusatz von **Bleitetraäthyl** erreichen, welches beim Verdichten verdampft und dadurch dem Gemisch Wärme entzieht. Wegen der Umweltbelastung wird heute weniger Blei im Kraftstoff verwendet. Die letzten hochgezüchteten großen Sternmotoren der 50er Jahre brauchten verbleite Super-Kraftstoffe mit Performance Numbers 108/115 und 115/145. Beide gibt es heute nicht mehr. Für jeden Flugtag mit echten Oldtimern müssen ein paar Fässer davon extra angerührt werden.

Heutige Kolbenmotoren baut man so, dass sie mit Kraftstoff der Bezeichnung 100 LL (das heißt Low Lead = niedriger Bleigehalt) auskommen.

Additive sind Zusätze, mit denen bestimmte Eigenschaften des Benzins erzielt werden, zum Beispiel:

- Erhöhung der Klopffestigkeit
- Verhinderung von Blei-Ablagerung an den Zündkerzen. Bei kleiner Leistung ist die Gefahr von Bleiablagerungen an den Kerzen relativ groß. Deshalb sollte man, wenn es das Flughandbuch zulässt, mit verarmtem Gemisch rollen.
- Unterdrückung der Entwicklung von **Mikro-Organismen** in den Ablagerungen am Tankboden
- Verhinderung von harz- und gummiartigen Rückständen
- Verhinderung elektrostatischer Aufladung

Farbkennzeichnungen und Sorten

Jeder zugelassene Flugzeug-Kraftstoff muss einer bestimmten Spezifikation entsprechen. Am Abgabegerät und am Einfüllstutzen des Flugzeugtanks ist die Bezeichnung angebracht. Jeder Pilot muss wissen, welchen Kraftstoff sein Flugzeug braucht, und wie er die richtige Sorte erkennt. Avgas ist durch Beimischung von Farbe gekennzeichnet.

Es gab früher fünf verschiedene Sorten von 80/87 bis 115/145, heute nur noch

Avgas 100 LL (blau). Die Verwendung von Kraftstoff mit höherer als der vorgeschriebenen Klopffestigkeit ist normalerweise unbedenklich, kann jedoch manchmal zu Bleiablagerungen an den Zündkerzen führen. Im Zweifelsfall kann der für die Wartung des Flugzeugs zuständige luftfahrt-technische Betrieb (LTB) Auskunft erteilen. Gewerblich zugelassene Flugzeuge dürfen nur Avgas 100 LL als Kraftstoff verwenden, es sei denn andere Kraftstoffe sind gemäß Flughandbuch zugelassen.

7.3 Wasser oder Verunreinigung im Kraftstoff

Wasser ist immer im Avgas enthalten. Ob dadurch der Betrieb des Motors gestört wird oder nicht, hängt von der Erscheinungsform des Wassers ab.

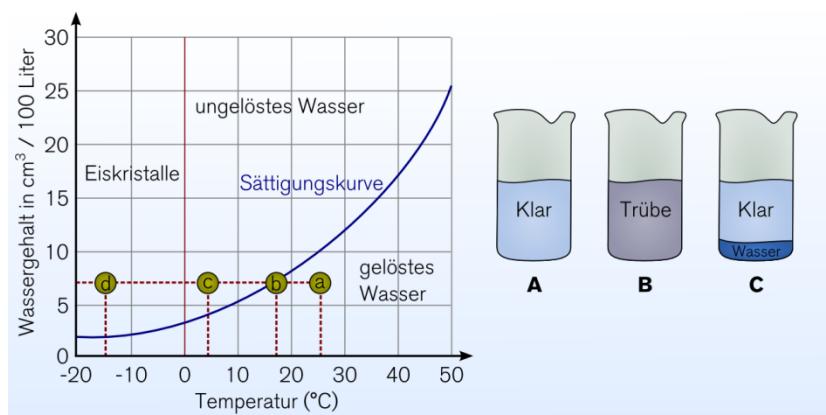


Abb. 7.1 Wassergehalt im Avgas

(A) Gelöstes Wasser

Avgas kann Wasser in Lösung aufnehmen. Ähnlich wie der Taupunkt bei der Luftfeuchtigkeit gibt es auch für den Wassergehalt im Kraftstoff eine Sättigungsgrenze (siehe Abb. 7.1). Im Beispiel sind 7 cm³ Wasser pro 100 Liter Kraftstoff enthalten. Bei Punkt (a) beträgt die Temperatur 25°C. Unterhalb der Kurve ist das Wasser im Benzin gelöst und nicht sichtbar, wenn man davon eine Probe in einem Glas (A) gegen das Licht betrachtet. Die Probe erscheint klar. Gelöstes Wasser verdampft im Motor und verursacht keine Störungen im Betrieb.

(B) Wasser im Schwebezustand:

In Punkt (b) ist der derselbe Kraftstoff auf 17°C abgekühlt und hat die Sättigungskurve erreicht. Sinkt die Temperatur im Tank unter die Sättigungsgrenze, kondensiert das Wasser zu feinen Tröpfchen, welche die Probe (B) trübe erscheinen lassen. Auch dieses Wasser verdampft im Motor. Bei weiterer Abkühlung unter 0°C auf Punkt (d) bilden sich jedoch Eiskristalle, die sich im Kraftstofffilter festsetzen und den Durchfluss behindern können.

(C) Freies Wasser

Ungelöstes Wasser bei Punkt (c) setzt sich wegen seiner größeren Dichte an den tiefsten Stellen des Systems ab. Die Probe (C) enthält unten freies Wasser. Der Kraftstoff darüber ist klar, aber gerade mit Wasser gesättigt. Wenn freies Wasser den Kraftstoff verdrängt und in die Gemischbildungs-Anlage gelangt, setzt der Motor aus. Wo es gefriert, kann es Filter und Leitungen blockieren.

Was ist deshalb zu beachten?

Vor dem ersten Flug des Tages Kraftstoffproben aus den Sumpf-Ablassventilen der Tanks und am Motor-Kraftstoffsieb entnehmen, bis kein Wasser mehr kommt und keine sonstigen Verunreinigungen zu sehen sind.

Beim Tanken darf kein Wasser in den Tank gelangen, deshalb nach dem Tanken Probe entnehmen. Das Flugzeug möglichst nicht mit leeren Tanks über Nacht abstellen. Luftfeuchtigkeit gelangt über die Tankbelüftung in den Kraftstofftank. Je voller der Tank ist, umso weniger Wasser wird aus der Luft aufgenommen.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Was gibt beim Kraftstoff (Avgas) die Octanzahl bzw. Leistungszahl an?

- a) Die verfügbare Leistung pro kg Kraftstoff
- b) Die verfügbare Leistung pro kg Kraftstoff bei einem Wirkungsgrad von 100%
- c) Die Zündwilligkeit bei Umgebungstemperatur und damit die Flammfrontgeschwindigkeit
- d) Die Kloppfestigkeit



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) d



8 Kraftstoffsysteme

8.1 Tankbelüftung

Jeder Kraftstofftank muss grundsätzlich mit einer **Belüftung** versehen sein. Eine Belüftung ist ein Anschluss nach außen oberhalb des Kraftstoffspiegels. Die Belüftung ist so angeordnet, dass im Normalbetrieb kein Kraftstoff aus ihr austritt, lediglich bei übervollen Tanks sieht man etwas Kraftstoff heraustropfen.

Bei der Vorflugkontrolle ist die Prüfung der Tankentlüftungen deshalb von Bedeutung, weil bei verstopften Entlüftungen durch Kraftstoffentnahme ein Vakuum im Tank entsteht. Die Kraftstoffversorgung des Triebwerkes wird dadurch unterbrochen und der Motor fällt aus.

8.2 Tankanordnung

Die Tankanordnung ist von der Bauart des Flugzeugs abhängig. Bei Hoch- und Schulterdeckern nützt man die Schwerkraft zum Transport des Kraftstoffes vom Tank zum Motor. Dabei ist auch zum Anlassen keine besondere Maßnahme notwendig, weil die Schwerkraft auch bei stehendem Motor wirkt.

Bei Tief- und Mitteldeckern sind die Tanks meistens so installiert, dass der Kraftstoff nur über eine vom Triebwerk angetriebene Kraftstoffpumpe zum Vergaser oder Einspritzer gesaugt werden kann. Da die vom Motor getriebene Pumpe ausfallen kann und auch zum Anlassen nicht zur Verfügung steht, installiert man meistens vor dem Brandschott eine **elektrische Kraftstoff-Zusatzpumpe (fuel boost pump)**, um die Betriebssicherheit zu erhöhen. Diese Zusatzpumpe wird vom Cockpit aus bedient. Das Flughandbuch gibt Angaben wie diese wann geschaltet werden muss. In den meisten Fällen (aber durchaus nicht immer) wird die Pumpe vor dem Anlassen, vor dem Start, vor der Landung und natürlich bei Ausfall der motorgetriebenen Kraftstoffpumpe eingeschaltet. Bei Anlagen mit elektrischen Zusatzpumpen findet man in der Regel auch eine **Kraftstoffdruckanzeige**.

Tankwahlschalter sind gut erreichbar im Cockpit installiert. Sie haben entweder eine einfache "Ein/Aus"-, "Links/Rechts"- oder "Links/Rechts/Beide"-Schaltung. Über die richtige Tankschaltung findet man Angaben im Flughandbuch, die man sich gut einprägen sollte, bevor man einen bestimmten Flugzeugtyp fliegt. Leider sind Unfälle wegen falscher Tankschaltung keine Seltenheit...



In allen Flugzeugen findet man Anzeigen der Tankfüllung. Jedoch arbeiten diese Anzeigen häufig unzuverlässig. Daher sollte man um sicher zu sein, dass man die richtige Menge Kraftstoff in den Tanks hat, immer auf die Sichtkontrolle mittels Peilstab zurückgreifen.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Warum müssen Kraftstofftanks eine Belüftung haben?

- a) Damit immer frische Luft an den Kraftstoff kommt, sonst wird er ranzig
- b) Damit der Kraftstoff atmen kann
- c) Damit überschüssiger Kraftstoff abfließen kann
- d) Damit sich im Tank weder Unterdruck noch Überdruck bildet

002.) Wann muß eine elektrische Kraftstoff-Zusatzpumpe (fuel boost pump) eingeschaltet werden?

- a) Bei Start und Landung
- b) nur beim Start
- c) nach Angabe des Flughandbuches
- d) nur bei der Landung



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) d

002.) c



9 Propeller

9.1 Aufgabe des Propellers

Der Propeller dient in erster Linie dazu die mechanische Leistung, die das zugehörige Triebwerk (Kolbenmotor oder Gasturbine) an der Welle zur Verfügung stellt, in Schub- bzw. Vortriebsleistung zu wandeln.

9.2 Geometrie des Propellerblattes

Der Propeller setzt sich zusammen aus der Nabe und der Nabenvorkleidung (Haube, Spinner) sowie zwei oder mehreren Blättern. Die Blätter sind aerodynamisch gesehen drehende Tragflügel. Der Einstellwinkel ϑ wird dabei gemessen zwischen der Profilsehne und der Propellerdrehalebene, Abb. 9.1.

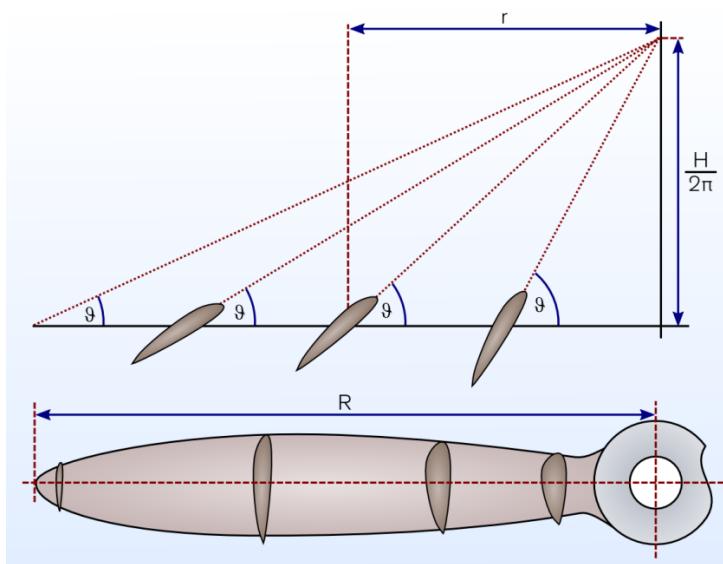


Abb. 9.1 Geometrie des Propellerblattes

Damit jeder Teil des Propellerblatts im Betrieb ungefähr denselben **Anstellwinkel** bekommt, wird der **Einstellwinkel des Profils zur Propeller-Ebene** mit zunehmendem Abstand von der Welle kleiner, d.h. ein Propellerblatt ist geometrisch geschränkt. In Nähe der Nabe ist das Propeller-Blattprofil stark verdickt; es tritt dort eine große Biegebeanspruchung auf, weil die hauptsächlichen Kräfte relativ weit außen am Propellerblatt angreifen, siehe Abb. 9.2

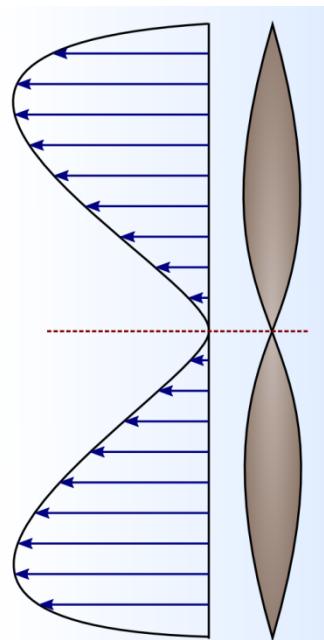


Abb. 9.2 Verteilung des Schubes

Die in Abb. 9.1 angegebene Größe **H** ist die **geometrische Steigung des Propellers**, es ist die Strecke, die der Propeller bei einer Umdrehung voran kommen würde, wenn man ihn in ein festes Material einschrauben könnte. Die Strecke, die der Propeller in der Luft bei einer Umdrehung tatsächlich zurücklegt, heißt **aerodynamische Steigung**. Sie wird üblicherweise in Prozent der geometrischen Steigung angegeben. Die Differenz zwischen beiden Steigungen wird **Schlupf** genannt. Wenn man bei unveränderter Gashebelstellung in einen Sinkflug übergeht, d.h. die Flugbahn stark abwärts neigt, wird der Schlupf kleiner und der Propeller entlastet, dadurch steigt die Drehzahl und es kann ggf. zum Überschreiten der maximal zulässigen Drehzahl führen.

Zwischen der Steigung eines Propellers (ohne Zusatz ist immer die geometrische Steigung gemeint) und dem mittleren Einstellwinkel besteht der Zusammenhang:

große Steigung bedeutet großer mittlerer Einstellwinkel

Da jedoch der Einstellwinkel auch vom Radius abhängt, spricht man meistens nur von der Steigung.



9.3 Propellerwirkungsgrad

Unter Wirkungsgrad η versteht man ganz allgemein das Verhältnis des Ergebnisses zum Aufwand, häufig in % angegeben. Bei Betrachtung des Propellers ist das Ergebnis die sogenannte **Vortriebsleistung**, das ist **Schub mal Geschwindigkeit**, und der Aufwand ist die an der Propellerwelle zugeführte Motorleistung.

Abb. 9.3 zeigt den Propellerwirkungsgrad bei konstanter Drehzahl in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit für zwei unterschiedliche Steigungen. Mit kleiner Steigung (fine pitch) wird der beste Wirkungsgrad bei geringer Geschwindigkeit erreicht. Deshalb werden Flugzeuge die oft bei geringer Geschwindigkeit operieren, die also z.B. Luftziele schleppen, mit Propellern kleiner Steigung, so genannten "Steiglatten", (Latte bezeichnet einen Propeller in der Fliegersprache) ausgerüstet. Im Gegensatz dazu erhalten Reiseflugzeuge Propeller mit großer Steigung (coarse pitch, oder „Reiselatten“), die zwar bei Start und Steigflug etwas schlechter sind, aber ihren Vorteil während des Reisefluges zeigen.

Bei einem Verstellpropeller lässt sich die Steigung in einem großen Bereich während des Betriebes kontinuierlich verstehen. Dadurch ergibt sich eine Vielzahl von Wirkungsgradkurven, Abb. 9.4, deren Einhüll-Ende (gestrichelt) den wirk samen Wirkungsgradverlauf darstellt.

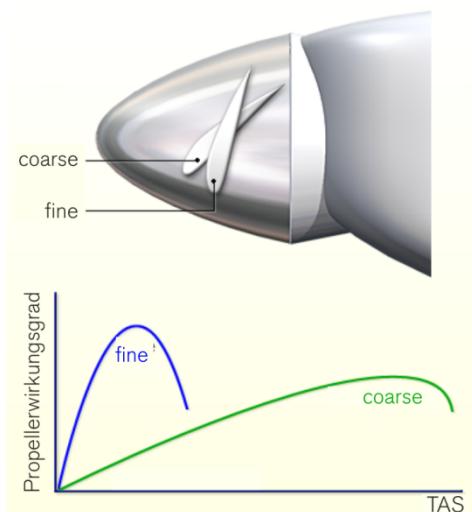


Abb. 9.3 Propellerwirkungsgrad

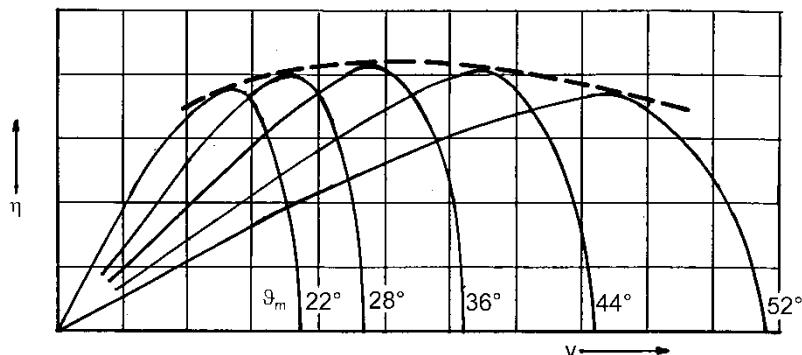


Abb. 9.4 Wirkungsgrade eines Verstellpropellers

Die kontinuierliche Verstellung erlaubt es die maximale Motorleistung bei allen praktisch vorkommenden Geschwindigkeiten voll auszunutzen. Verstellpropeller werden bei den meisten heutigen Flugzeugen als sogenannte "**Constant Speed Propeller**" betrieben. Dabei wird der Propeller von einem **Drehzahlregler (Governor)** verstellt. Der Pilot wählt nur den **Sollwert** des Drehzahlreglers. Wenn also bei unverändertem Ladedruck die Fluggeschwindigkeit z.B. durch Übergang in den Steigflug verringert wird, greift der Drehzahlregler ein und verstellt den Propeller auf kleinere Steigung, um die Drehzahl konstant zu halten. Der Drehzahlregler arbeitet so schnell, daß keine separate Anzeige für die gewählte Drehzahl nötig ist; letztere kann direkt am Drehzahlmesser abgelesen werden.

Die Drehzahl gibt bei Verstellpropellern keine Indikation für die eingestellte Leistung, sie muß deshalb zusammen mit dem Ladedruck (MAP) betrachtet werden.

9.4 Bedienung von Motor und Propeller

Abb. 9.5 zeigt die Anordnung der Bedienhebel für Motor und Propeller, die bei allen Motorflugzeugen die gleiche ist. Der linke Hebel (schwarz) ist der **Gashebel (Throttle)**, mit dem der **Ladedruck (MAP)** eingestellt wird. Flugzeuge mit "Constant Speed Propeller" haben grundsätzlich einen Ladedruckmesser.

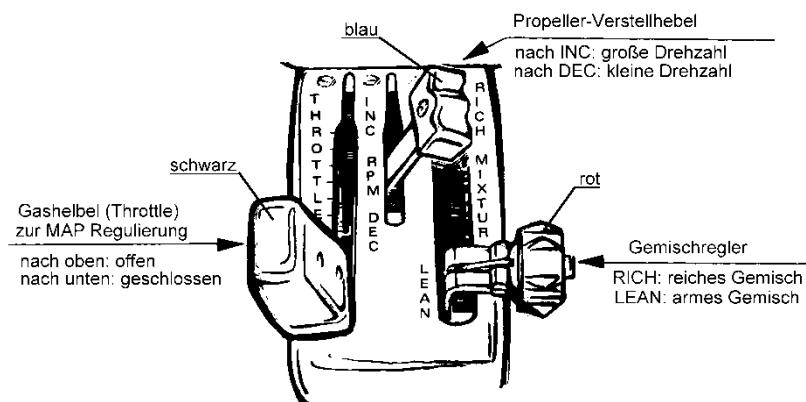


Abb. 9.5 Bedienhebel für Motor und Propeller

Der mittlere Hebel (blau) ist der **Drehzahl-Wahlhebel (RPM control)**. Mit ihm wird indirekt der Propeller verstellt, aber tatsächlich der Sollwert des Drehzahlreglers eingestellt.

Der rechte Hebel (rot) ist der Gemischregler (Mixture control), der bei voll/LEAN das Triebwerk abstellt.

Für Leistungsänderungen gelten nun zwei grundsätzliche Regeln

1 Leistungsreduktion: von links nach rechts:

Zuerst Gas zurück, erst dann Drehzahl reduzieren und zum Schluß das Gemisch neu einstellen.

2 Leistungserhöhung: von rechts nach links:

Zuerst Gemisch reicher stellen, dann Drehzahl erhöhen und erst zum Schluß mit dem Gashebel den Ladedruck erhöhen.

Durch diese Art des Vorgehens wird dafür gesorgt, daß nie kleine Drehzahl mit hohem Ladedruck zusammenfällt, da letzteres zum Klopfen führt.

Auch beim Magnetcheck sind mit "constant speed propeller" gewisse Regeln zu beachten, denn solange der Regler arbeitet, kann man keinen Drehzahlabfall erkennen. Die Vorgehensweise beim Magnetcheck ist jeweils dem Flughandbuch zu entnehmen. Allgemein läßt sich sagen, daß der Propeller-Verstellhebel auf

größter Drehzahl stehen muß, mit dem Gashebel jedoch die Drehzahl so niedrig gehalten werden soll, daß der Drehzahlregler noch nicht eingreift.

Bei einem Ausfall der Drehzahlregelung (run away governor) laufen Propeller von einmotorigen Flugzeugen auf kleinster Steigung, d.h. größter ungeregelter Drehzahl. In diesem Fall muß sofort mit dem Gashebel eingegriffen werden, um die Drehzahl im normalen Bereich zu halten.

9.5 Nebenwirkungen des Propellers auf das Flugzeug

Gegendrehmoment (Torque effect)

Das 3. Gesetz von Isaac Newton lautet: "Die Wirkung zweier Körper aufeinander ist stets gleich und von entgegengesetzter Richtung (Prinzip der Gleichheit von actio und reactio)." Für uns bedeutet das: wenn der eine Körper (das Flugzeug) auf den anderen Körper (den Propeller) mittels Triebwerk und Welle ein Drehmoment überträgt, dann überträgt der andere Körper (der Propeller) ein gleich großes aber entgegengerichtetes Drehmoment auf den einen Körper (das Flugzeug). Etwas einfacher kann man auch sagen: wenn der (im Flugzeug fest eingebaute) Motor den Propeller rechts herum dreht, wirkt durch den Widerstand des Propellers auf das Flugzeug ein Gegendrehmoment nach links. Dieses Gegendrehmoment ist umso größer je größer die Motorleistung ist.

Schräg-Anblasung (P-Factor)

Im normalen Reiseflug wird ein Propeller genau von vorn, d.h. achsparallel angeblasen. In diesem Fall bleiben die Anströmung eines Propellerblattes und damit die Kräfte an diesem Blatt während eines Umlaufes überall gleich. Erfolgt jedoch die Anblasung unter einem gewissen Winkel zur Achse, so ändern sich die Verhältnisse während eines Umlaufes. Der wichtigste Fall ist die Anblasung des Propellers etwas schräg von unten, d.h. bei großem Anstellwinkel des Flugzeuges. Wenn das Blatt abwärts läuft, erzeugt es mehr Schub als auf der aufwärts laufenden Seite.

Diese Erscheinung, die auch als p-factor bezeichnet wird, ergibt beim rechts drehenden Propeller ein nach links drehendes Moment um die Hochachse. Das Moment tritt nur bei großen Anstellwinkeln auf und wird umso stärker je größer dabei die Motorleistung ist; großer Anstellwinkel (geringe Geschwindigkeit) und große Motorleistung gehören zum Steigflug.



Kreiselpräzession (Precession effect)

Der Propeller ist eine umlaufende Masse und zeigt deshalb, wie jede um eine Achse schnell drehende Masse, die Eigenschaften eines Kreisels. Ein Kreisel reagiert auf ein Moment, das die Lage seiner Achse verändern will, mit einer um 90° in Kreiseldrehrichtung versetzten Ausweichbewegung. Man bezeichnet dieses Verhalten als Präzession.

Ein rechts drehender Propeller reagiert demnach auf ein Senken der Flugzeugnase mit einem nach links drehenden Moment um die Hochachse. Diese Erscheinung ist besonders ausgeprägt bei Schwanzspornflugzeugen während des Starts. Am Beginn des Startlaufes wird dabei zur Verringerung des Widerstandes der Schwanz gehoben (die Nase gesenkt).

Das Flugzeug versucht dadurch nach links auszubrechen und die Gegenwirkung mit dem Seitenruder ist wegen der geringen Geschwindigkeit noch sehr schwach.

Bei Bugradflugzeugen tritt die Kreiselpräzession bei geringen Geschwindigkeiten nicht in Erscheinung, weil keine Bewegungen um die Querachse auftreten.

Drall des Propellerstrahles (Slip stream effect)

Der Luftstrom hinter dem Propeller hat eine Komponente in Umfangsrichtung, die Drall genannt wird. Insbesondere bei einmotorigen Flugzeugen ergibt sich dadurch eine Anblasung des Seitenleitwerkes von links (bei rechts drehendem Propeller). Das Flugzeug wird also, je nach Stärke des Dralles, mehr oder weniger kräftig nach links gedreht.

Als Folge der oben besprochenen Wirkungen zeigen Flugzeuge mit rechtsdrehenden Propellern bei Start und Steigflug eine deutliche Linkstendenz, die durch Seiten- und Querruderausschlag ausgeglichen werden muß.

Alle nach links gerichteten Wirkungen bei rechtsdrehendem Propeller wirken nach rechts, wenn der Propeller links herum dreht. Deshalb werden manche zweimotorigen Flugzeuge mit Triebwerken entgegengesetzter Drehrichtung gebaut (z.B. Piper Seneca). Nachteilig dabei ist das Vorhalten von Ersatzteilen für beide Drehrichtungen.



Selbstkontrollaufgaben

001.) Warum werden Propellerblätter geometrisch geschränkt?

- a) Damit jeder Teil des Propellerblatts im Betrieb ungefähr denselben Anstellwinkel bekommt
- b) Um die Festigkeit der Propellerblätter zu erhöhen
- c) Damit die Fliehkräfte kleiner werden
- d) Damit die äußeren Teile der Propellerblätter nicht zu viel Schub liefern

002.) Was versteht man unter der geometrische Steigung eines Propellerblattes?

- a) Die Steigung ergibt sich aus dem Winkel zwischen Profilsehne und Flugrichtung
- b) Die geometrische Steigung ist eine andere Bezeichnung für den Propellerwirkungsgrad im Stand
- c) Die geometrische Steigung ist die Strecke die der Propeller bei einer Umdrehung im Reiseflug zurücklegt
- d) Die geometrische Steigung ist die Strecke die der Propeller bei einer Umdrehung in einem festen Material zurücklegen würde

003.) Wie groß ist der Propellerwirkungsgrad bei Vollgas und Windstille wenn das Flugzeug mit angehaltenen Bremsen am Start steht?

- a) Wirkungsgrad = 0
- b) Wirkungsgrad ca. 80%
- c) Der Wirkungsgrad ist abhängig von der Propellerdrehzahl
- d) Einen Propellerwirkungsgrad gibt es nicht



004.) Wie arbeitet ein "constant speed propeller"?

- a) Unabhängig vom Ladedruck hält er die Geschwindigkeit (true air speed) konstant
- b) Unabhängig vom Ladedruck hält ein Drehzahlregler (governor) die gewählte Drehzahl konstant
- c) Unabhängig vom Ladedruck hält er die Steigung konstant
- d) Unabhängig vom Ladedruck hält er den Propellerwirkungsgrad konstant

005.) Wie wird bei einem Flugzeug mit "constant speed propeller" die Leistung nach dem Start reduziert ?

- a) Mixture reduzieren, Drehzahl reduzieren und dann Ladedruck reduzieren
- b) Drehzahl reduzieren, Ladedruck reduzieren und dann Mixture reduzieren
- c) Ladedruck reduzieren, Mixture reduzieren und dann Drehzahl reduzieren
- d) Ladedruck reduzieren, Drehzahl reduzieren und dann Mixture einstellen

006.) Welche Nebenwirkungen eines rechtsdrehenden Propellers bewirken keine Drehung bzw. Neigung des Flugzeugs nach links ?

- a) Der Torque effect
- b) Der P-Factor
- c) Der slip stream effect
- d) Der precession effect



Lösungen der Selbstkontrollaufgaben

001.) a

002.) d

003.) a

004.) b

005.) d

006.) d



Abbildungsverzeichnis

Abb. 1.1 Unterscheidung der Motoren nach Zylinder-Anordnung	5
Abb. 2.1 Prinzipieller Aufbau von Zylinder, Kolben und Kurbeltrieb	8
Abb. 2.2 Die vier Takte des Otto-Motors.....	9
Abb. 2.3 Prinzip der Ventilsteuerung.....	10
Abb. 3.1 Prinzip der Kühlluftführung.....	16
Abb. 5.1 Hochspannungs-Zündung	31
Abb. 5.2 Hochspannungs-Zündmagnet.....	32
Abb. 5.3 Zündschalter	34
Abb. 6.1 Schwimmer-Vergaser.....	40
Abb. 6.2 Ladedruckmesser (Manifold Pressure Gauge).....	41
Abb. 6.3 Vergaservereisung.....	42
Abb. 6.4 indirekte Einspritzung.....	44
Abb. 7.1 Wassergehalt im Avgas	55
Abb. 9.1 Geometrie des Propellerblattes.....	63
Abb. 9.4 Wirkungsgrade eines Verstellpropellers	65
Abb. 9.5 Bedienhebel für Motor und Propeller.....	66



Über den Autor



Patrick Nahstoll

Geboren 1988 in Ludwigshafen.

Linienpilot, Bachelor in Luftfahrtsystemtechnik und Management.

Tutor für Thermodynamik, Physik, Strömungslehre und technische Mechanik an der Fachhochschule in Bremen.

Dozent für Triebwerkstechnik, Navigation und Flugplanung an der Fachhochschule Worms im Studiengang Aviation Business Management.